ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL

MANUAL DE HIDROGRAFIA

Publicação C-13

1ª Edição

Maio de 2005

(correções até Abril de 2010)

VERSÃO ORIGINAL EM INGLÊS PUBLICADA PELO
BUREAU HIDROGRÁFICO INTERNACIONAL – MÓNACO

VERSÃO TRADUZIDA PARA PORTUGUÊS PUBLICADA PELO
INSTITUTO HIDROGRÁFICO – PORTUGAL

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL

MANUAL DE HIDROGRAFIA

Publicação C-13

1ª Edição

Maio de 2005

(correções até Abril de 2010)

Versão original em Inglês publicada pelo
Bureau Hidrográfico Internacional
4, Quai Antoine 1er
B.P. 445 - MC 98011 MONACO Cedex
Principauté de Monaco
Fax: (377) 93 10 81 40
E-mail: info@ihb.mc
Website: www.iho.int

Versão traduzida para Português
publicada pelo
Instituto Hidrográfico
Rua das Trinas 49
1249-093 Lisboa
Portugal
Fax: (+351) 210 943 299
E-mail: hidrografico@hidrografico.pt
Website: www.hidrografico.pt

Este documento é uma tradução da publicação C-13 - *IHO Manual on Hydrography*. A Organização Hidrográfica Internacional não verificou esta tradução, pelo que não aceita qualquer responsabilidade sobre o seu rigor. Em caso de dúvida deve ser consultada a versão original em inglês deste Manual.

This document is a translation of publication C-13 - IHO Manual on Hydrography. The IHO has not checked this translation and therefore takes no responsibility for its accuracy. In case of doubt the source version of IHO Manual on Hydrography in English should be consulted.

PREFÁCIO

O Manual de Hidrografia da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) tem como objetivo geral providenciar conhecimento nos conceitos relacionados com a hidrografia e também orientação para o planeamento e execução de levantamentos hidrográficos. O Manual é considerado um guia profissional para os hidrógrafos e uma ferramenta para professores e estudantes dos cursos ou programas de hidrografia.

A preparação deste Manual iniciou-se depois da maioria dos Estados Membros (EM) terem respondido favoravelmente à prossecução de um projeto que poderia resultar num Manual de Hidrografia (1999). O Comité Diretivo da Organização Hidrográfica Internacional (IHB) propôs Junho de 2001, onde a tabela de conteúdos foi acordada. Foram também identificados os Lideres das Equipas que iriam lidar com os assuntos específicos, tendo ficado responsáveis pela compilação das contribuições dos peritos, e foi ainda definido o programa de trabalhos. Em 2004 foi realizada uma segunda reunião para rever os resultados obtidos e aprovar a versão prévia do Manual.

Depois de recolher comentários dos EM, a versão final foi preparada e publicado o Manual de Hidrografia da OHI.

O Manual de Hidrografia é considerado um produto meritório que contribui para a missão da OHI, cujos objetivos são:

- A coordenação das atividades dos serviços hidrográficos nacionais;
- A maior uniformidade possível nas cartas e documentos náuticos;
- A adoção de métodos fiáveis e eficientes para levar a cabo e tirar partido dos levantamentos hidrográficos;
- O desenvolvimento das ciências no campo da hidrografia e as técnicas utilizadas em oceanografia descritiva.

Deve ser reconhecido que vários Serviços Hidrográficos (SH) têm feito um grande esforço na preparação e manutenção da atualização de um Manual de Hidrografia próprio praticamente desde a sua criação. Mas, os recursos humanos e o tempo requerido para esta atividade impediram vários SH de manter essa prática, levando-os a concordar com a necessidade de cooperar e coordenar os esforços para a preparação de um Manual de Hidrografia da OHI. Um Manual que poderia ser útil para todos contendo aspectos específicos em hidrografia e aspectos gerais de outras matérias, uma vez que estas são mais cuidadosamente cobertas em bibliografia existente que as abordam com um detalhe consideravelmente mais elevado.

O conteúdo deste manual está dividido em sete capítulos:

- O Capítulo 1 refere-se aos princípios dos levantamentos hidrográficos, incluindo as suas especificações;
- O Capítulo 2 refere-se ao posicionamento;
- O Capítulo 3 refere-se à determinação da profundidade, incluindo tanto os princípios como as técnicas utilizadas;
- O Capítulo 4 fornece informações sobre a classificação do fundo marinho e a detecção de objetos;

- O Capítulo 5 refere-se, em particular, aos níveis de água e escoamentos;
- O Capítulo 6 é dedicado aos levantamentos topográficos aplicados à hidrografia;
- O Capítulo 7 providencia, de forma estruturada, detalhes completos sobre a prática hidrográfica;
- Anexos com Acrónimos, Bibliografia e outra informação relevante.

É da responsabilidade do IHB manter este Manual atualizado, de acordo com as contribuições dos EM e outras organizações que são incentivadas a fornecer ao IHB informação relevante neste âmbito. Se necessário, o IHB solicitará conselho ao Conselho Consultivo Internacional sobre Normas de Competência para Hidrógrafos e Cartógrafos Náuticos de FIG/OHI/ICA, sobre a melhor forma de incluir material novo e/ou organizar o(s) capítulo(s) relevante(s).

O IHB irá manter a versão digital do presente Manual na página Web da OHI e irá imprimir cópias em papel a pedido. Com a ajuda dos leitores e dos Estados Membros, o IHB ambiciona manter esta publicação numa base regular.

O IHB está particularmente grato ao Almirante Ritchie do Reino Unido pelo seu encorajamento e apoio ao redigir a Introdução a este Manual.

O IHB gostaria de agradecer aos seguintes autores principais pelo seu esforço na elaboração do texto final, com a certeza de que eles foram habilidosamente assistidos por muitos outros que permanecem incógnitos:

Capitão-de-mar-e-guerra Muhammad ZAFARYAB (Paquistão), Capitão-de-fragata Lamberto LAMBERTI (Itália), Tenente Antonio DI LIETO (Itália), Capitão-tenente Paul LAWRENCE (Reino Unido), Capitão-tenente Fernando ARTILHEIRO (Portugal), Capitão-tenente Peter JOHNSON (Austrália), Capitão-de-fragata Jerry MILLS (E.U.A.), Senhor Stephen GILL (E.U.A.), Senhor Federico MAYER (Argentina), Senhor Hector SALGADO (Argentina), Capitão-tenente Bob WILSON (Reino Unido) e Capitão-tenente David WYATT (Reino Unido).

TABELA DE CONTEÚDOS

INTRODUÇÃO

BREVE HISTÓRIA DA HIDROGRAFIA

A carta de navegação mais antiga conhecida atualmente é a *Carte Pisane*, assim denominada por ter sido comprada em 1829 a uma família de Pisa pela *Bibliothèque Nationale* de Paris. Esta carta foi desenhada numa pele de animal no final do século XIII, provavelmente em Génova onde uma escola de cartografia náutica tinha sido estabelecida. Existiu uma escola semelhante em Veneza, e uma terceira foi criada na ilha de Maiorca. As cartas produzidas por cada uma dessas escolas, conhecidas como "Portulanos" eram semelhantes em estilo e conteúdo. A sua característica mais marcante consistia em redes de loxodrómias interligadas que emanavam a partir de rosas-dos-ventos representando 32 direções em que cada uma da qual poderia ser usada com divisores para definir o rumo do navio. A totalidade da Costa Mediterrânea foi retratada e os nomes das zonas costeiras foram inseridos na parte terrestre deixando a área marítima para o registo e marcação das posições da navegação. Foram usados alguns símbolos tais como a cruz para assinalar rochas submersas, mas não continha sondas.

Pelo século XV, os Portulanos Portugueses e Espanhóis permitiam aos marinheiros do Mediterrâneo navegar para o sul da Inglaterra e Flandres para o comércio da lã.

Durante gerações os marinheiros do norte navegaram de uma linha de rumo para outra utilizando instruções escritas transmitidas pelos seus antepassados com informação de sondas, um método de navegação conhecido como "navegação de roteiro". Com o desenvolvimento da impressão, Pierre Garcie de Rouen foi o primeiro a publicar informações de roteiro no seu "*Routier de la Mer*", em que, com gravações simples em madeira, ilustrou pontos de vista da costa.

Cornelius Anthonisz, um projetista de Amesterdão percebeu que poderiam ser utilizados blocos de gravações em madeira para imprimir cartas em papel, sendo a sua primeira a "*Karte van Ostland*" do Báltico e Mar do Norte. Embora tenha adotando as loxodrómias e outras características dos Portulanos, ele usou a projeção de Ptolomeu que tinha sido recentemente redescoberta em Constantinopla.

Anthonisz tinha mostrado o caminho, mas foi Lucas Janszoon Waghenaer de Enkhuizen, Holanda, que, quarenta anos depois, imprimiu cartas em papel a partir de chapas de cobre com gravações. Ele viajou durante muitos anos como piloto recolhendo informações hidrográficas e quando voltou para terra com 49 anos de idade passou a recorrer a marítimos para obter material para a compilação das suas cartas.

Em 1584, Waghenaer, publicou o seu grande atlas "*Spieghel der Zeevaerdt*" (Espelho do Mar) contendo 45 cartas e abrangendo as costas Europeias desde a Noruega até ao Estreito de Gibraltar. Introduziu muitas características novas, tais como perfis por detrás da orla costeira para reconhecimento costeiro, redução das distâncias entre os portos de modo a que as suas aproximações pudessem ser representadas numa escala maior, a introdução de símbolos para bóias, balizas, pináculos das igrejas, etc., e sondagens reduzidas para a profundidade a meia-maré.

Waghenaer tinha dado um grande passo evolutivo produzindo cartas em papel concebidas por um marinheiro para marinheiros. Teve uns quantos seguidores holandeses de tal forma que, durante 100 anos, as cartas holandesas foram amplamente disponíveis, até mesmo de águas britânicas; A determinada altura o Rei Carlos I de Inglaterra decidiu que a totalidade das costas e dos portos da Grã-Bretanha deveriam ser sondados.

Para esta enorme tarefa selecionou um oficial da marinha chamado Greenville Collins, concedeu-lhe o título de “*Hydrographer to the King*" e disponibilizou-lhe o iate *Merlin*. Os trabalhos iniciaram-se em 1681 e duraram onze anos.

Não existia nenhum mapa topográfico geral do reino com o qual Collins pudesse relacionar as suas cartas, nem dispunha de um método para determinar a longitude. Dispunha apenas do quadrante para a determinação da latitude. As suas sondagens reduzidas para a baixa-mar foram posicionadas através da determinação de direções horizontais a marcas na costa que, por sua vez, foram fixadas utilizando bússolas e correntes de medição. Em 1693, as cartas resultantes foram publicadas num atlas intitulado "*Great Britain’s Coasting Pilot*", que continha 47 cartas e 30 páginas com tabelas de maré, orientações para a navegação e esquemas costeiros. Gravadas com precisão, as cartas incluíam sondas e enfiamentos para a entrada nos portos, etc.

O *Pilot* agradou aos marinheiros britânicos, tendo sido publicadas mais vinte edições durante os cem anos seguintes.

Durante o século XVI foi formada uma escola de hidrografia em Dieppe pelos diversos pilotos que navegaram em costas distantes. Em 1661, Jean Baptiste Colbert tornou-se Ministro Chefe de Luís XIV, e entre as suas diversas tarefas foi incumbido da revitalização da Marinha Francesa. Ele não só zelou pela escola de Dieppe, como estabeleceu centros hidrográficos semelhantes numa série de outros portos franceses. Isto permitiu-lhe ter levantamentos hidrográficos efetuados em todo o litoral de França, estando as cartas ligadas à rede nacional de triangulação estabelecida pela dinastia Cassini.

Os hidrógrafos de Colbert realizaram levantamentos na Nova França, tendo a quantidade de informação proveniente do Québec levado ao estabelecimento em Paris do "*Dépôt Général des Cartes et Plans*", reconhecido atualmente como o primeiro Serviço Hidrográfico nacional. A Dinamarca foi o país seguinte a criar um Serviço Hidrográfico, tendo sido seguido de perto pelos britânicos em 1795. Durante o século XIX mais de vinte países criaram Serviços deste tipo.

Por volta de 1775 dois britânicos, Murdoch Mackenzie e o seu sobrinho com o mesmo nome, foram os principais responsáveis pela invenção do compasso de três pontas (*station pointer*), um instrumento que permite a marcação da posição de um navio com precisão a partir da observação de dois ângulos horizontais entre três marcas fixas em terra. Este foi um grande progresso técnico que revolucionou os levantamentos hidrográficos no século XIX durante o qual a necessidade de cartas náuticas para objetivos pacíficos e bélicos aumentou dramaticamente.

Mesmo antes da 1ª Guerra Mundial vários Hidrógrafos nacionais estudaram formas de como a cooperação internacional poderia levar à troca de informação e à normalização gráfica das cartas náuticas. Com o final da Guerra, os hidrógrafos britânicos e franceses organizaram em conjunto uma conferência internacional que, em Junho de 1919, reuniu em Londres delegados de 22 países. No decurso dessa Conferência foram adotadas varias resoluções relacionadas com a normalização cartográfica e, finalmente, uma resolução para formar um Serviço Hidrográfico Internacional composto por três diretores.

O Príncipe Alberto I do Mónaco, que tinha sido mantido a par dos trabalhos da Conferência, concordou generosamente em fornecer um edifício no Principado para sede da organização, onde ainda hoje permanece.

A história da hidrografia durante o século XX, ao longo do qual houve diversos progressos técnicos, pode ser seguida na 75ª Edição Comemorativa do Aniversário da publicação da Revista Hidrográfica Internacional, datada de Março de 1997.

A IMPORTÂNCIA DA HIDROGRAFIA

Em primeiro lugar, é necessário considerar a definição de Hidrografia da OHI, que é a seguinte:

> *O ramo das ciências aplicadas, que trata da medição e descrição das características dos mares e áreas costeiras, tendo como objetivo principal a navegação e todas as outras finalidades e atividades marítimas, incluindo, entre outras, atividades costeiras e oceânicas, de investigação, proteção do ambiente, e serviços de previsão.* (OHI Pub. S-32)

Portanto, o desenvolvimento de uma política marítima nacional exige uma capacidade bem desenvolvida para conduzir todas estas atividades que irão permitir a obtenção de conhecimentos básicos acerca das características geográficas, geológicas e geofísicas do leito do mar e do litoral, bem como acerca das correntes, marés e algumas propriedades físicas da água do mar. Todos esses dados deverão ser devidamente processados de modo a que a natureza do fundo do mar, a sua relação geográfica com a terra e as características e dinâmica do oceano possam ser rigorosamente conhecidas em todas as zonas nacionais de navegação. Resumindo, a Hidrografia, tal como é definida, é a chave para o progresso em todas as atividades marítimas, habitualmente de grande importância económica nacional.

Para intervir adequadamente nas áreas da segurança e controlo eficiente do tráfego marítimo, gestão das zonas costeiras, prospecção e exploração de recursos marinhos, proteção ambiental e defesa marítima é necessário criar um Serviço Hidrográfico.

O Serviço Hidrográfico, através da coleta sistemática de dados realizada na costa e no mar, produz e difunde informações que suportam a segurança da navegação marítima e a preservação do ambiente marinho, assim como a sua defesa e exploração.

ÁREAS DE COMPETÊNCIA ASSOCIADAS COM A HIDROGRAFIA

Transporte Marítimo

Mais de 80% do comércio internacional é transportado por via marítima. O comércio marítimo é um dos pilares da economia de uma nação. Muitas áreas e portos em todo o mundo não têm uma cobertura de cartografia náutica adequada ou rigorosa. Para uma navegação segura através das águas de um país, ao longo da sua costa e para demandar os seus portos são necessárias cartas náuticas atuais. A falta de cartas náuticas adequadas impede o desenvolvimento do comércio marítimo nas águas e nos portos das nações envolvidas.

A indústria marítima necessita de eficiência e segurança. Áreas mal cartografadas e com falta de informação podem tornar as viagens mais longas do que o necessário, e podem impedir o carregamento adequado dos navios, aumentando assim os custos associados. A poupança de tempo e dinheiro resultante da utilização de rotas mais curtas e mais profundas e a possibilidade de utilizar navios maiores ou carregar mais os navios podem trazer poupanças importantes para a indústria e comércio nacionais. É também muito importante notar que a Convenção SOLAS Capítulo V considera um navio inapto para navegar se não tiver a bordo as cartas náuticas, atualizadas, necessárias para realizar a viagem prevista.

A solução para estes problemas não seria possível sem a existência de cartas e mapas de qualidade, produzidos, continuamente atualizados e distribuídos por um Serviço Hidrográfico. Estas cartas, elaboradas a partir da informação recolhida durante a execução de levantamentos hidrográficos recentes, são necessárias para permitir que os maiores navios da atualidade naveguem através das

águas nacionais e demandem portos que, anteriormente, eram considerados pouco seguros, sendo por isso instrumentos essenciais para gerar rendimentos nas nações costeiras.

As cartas modernas fornecem também informações necessárias para criar os sistemas de roteamento estabelecidos pelas convenções internacionais e para satisfazer os interesses económicos dos estados costeiros.

Gestão de Zonas Costeiras

A gestão adequada das zonas costeiras inclui aspectos como a construção de novos portos e a manutenção e desenvolvimento dos já existentes; operações de dragagens para a manutenção das profundidades constantes nas cartas e para o estabelecimento, monitorização e melhoramento dos canais; controlo da erosão costeira, recuperação de terras ao mar; estabelecimento e controlo de locais para o despejo de resíduos industriais; extração de depósitos minerais; atividades de aquacultura; transportes e projetos de obras públicas, incluindo construção de infra-estruturas perto da costa.

Os levantamentos hidrográficos precisos de grande escala proporcionam os dados primários essenciais para projetos que envolvam todos os itens citados anteriormente. Devido às rápidas mudanças a que está sujeita a linha de costa, os levantamentos devem ser atualizados com a frequência ditada por um processo de acompanhamento e análise. A informação recolhida pelos serviços hidrográficos acerca da zona costeira fornece contributos essenciais aos SIG (Sistemas de Informação Geográfica) da zona costeira, que são cada vez mais utilizados para melhorar a gestão global e o apoio à decisão no que diz respeito aos usos conflituantes dentro das regiões costeiras. Os utilizadores da informação hidrográfica vão além do grupo de utilizadores marítimos tradicionais, incluindo também as agências governamentais, gestores costeiros, engenheiros e cientistas.

Exploração e aproveitamento dos recursos marinhos

Embora destinadas primariamente ao apoio da segurança da navegação, as extensas bases de dados acumuladas ao longo dos anos pelos serviços hidrográficos, juntamente com os diversos produtos e serviços oferecidos, são de considerável valor económico na assistência à gestão e exploração dos recursos marinhos naturais. Nos últimos anos, tornou-se mais evidente que serviços hidrográficos inadequados, não só restringe o crescimento do comércio marítimo, mas também conduz a atrasos dispendiosos na exploração dos recursos.

As áreas de sedimentos costeiras e oceânicas poderão conter depósitos de minerais, em especial hidrocarbonetos, que requerem levantamentos adequados para a sua identificação. Se a existência desses hidrocarbonetos for confirmada, levará as nações costeiras a desenvolver a exploração de hidrocarbonetos, o que implica a interpretação da morfologia do fundo do mar; a segurança da navegação para o transporte dessas cargas perigosas; a segurança das plataformas e dos sistemas de transmissão relacionados, de implementação dos poços de produção e colocação de gasodutos. Os dados batimétricos, de marés e meteorológicos fornecidos por um Serviço Hidrográfico constituem um elemento fundamental para o desenvolvimento de uma indústria de hidrocarbonetos.

A indústria da pesca é também uma fonte de riqueza nacional. Os pescadores precisam de informação marítima não só para a segurança da navegação dos seus navios, mas também para o lançamento seguro das suas artes de pesca, o que irá prevenir perdas onerosas. Além disso, cartas oceanográficas, compiladas e produzidas pelos serviços hidrográficos, são atualmente amplamente utilizadas pela indústria da pesca.

As atividades de pesca necessitam de cartas detalhadas, para:

- Evitar a perda dos navios e das artes de pesca devido a obstruções não detectadas ou mal cartografadas;

- Identificar zonas de pesca;

- Localizar áreas onde a pesca é limitada ou proibida.

Este tipo de informação está sujeita a alterações frequentes e necessita, portanto, de uma constante atualização. Os levantamentos hidrográficos são assim essenciais para a obtenção de informação atempada e atualizada devendo ser repetidos periodicamente.

A tendência da moderna ciência da pesca é no sentido de ser orientada para a gestão dos recursos. A informação batimétrica e outros dados oceânicos fornecerão um contributo importante para uma boa gestão e desenvolvimento das espécies.

Proteção e Gestão do Ambiente

Um fator essencial para a proteção do ambiente consiste em ter uma navegação segura e exata. A poluição causada por destroços e derramamentos de petróleo são uma das principais fontes de danos cujas consequências económicas são mais devastadores do que é geralmente imaginado, tendo, em alguns casos, sido estimados valores da ordem dos 3 mil milhões de dólares para um único incidente.

O valor dos serviços de navegação para a proteção do ambiente marinho tem sido internacionalmente reconhecido. A este respeito, convém notar que o Capítulo 17 da Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento, realizada em 1992, reconheceu que "**a cartografia hidrográfica é de vital importância para a segurança da navegação**".

Ciências Marinhas

As ciências marinhas dependem em grande medida de informação batimétrica. Estudos sobre a maré em termos globais e modelos de circulação, modelos locais e regionais para uma ampla variedade de estudos científicos, a geologia/geofísica marinha, a largada/colocação de instrumentação científica e muitos outros aspectos da ciência marinha dependem da batimetria fornecida pelos Serviços Hidrográficos.

Infra-estrutura Nacional de Dados Espaciais

Na era da informação é reconhecido pelos governos que uma boa qualidade e gestão adequada dos dados espaciais é essencial para o desenvolvimento económico e comercial, bem como para proteção ambiental. Devido a esse aspecto muitas nações implementaram infra-estruturas de dados espaciais nacionais, reunindo os serviços e os conjuntos de dados das principais instituições nacionais de dados espaciais de diversas áreas, como por exemplo, topografia, geodesia, geofísica, meteorologia, e batimetria. Os Serviços Hidrográficos são uma parte importante da infra-estrutura nacional de dados espaciais.

Delimitação de fronteiras marítimas

Dados hidrográficos de qualidade é essencial para a correta delimitação das fronteiras marítimas, conforme é detalhado na Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar.

Defesa Marítima

As Marinhas são grandes utilizadoras dos produtos de cartografia náutica, devendo estar preparados para uma projeção em diversas áreas do mundo, pelo que normalmente têm de manter um grande conjunto de cartas. Os riscos únicos associados ao transporte de munições e de material nuclear faz com que seja tão importante para esses navios ter informação atualizada. Os dados marinhos e as informações fornecidas pelos respectivos Serviços Hidrográficos nacionais apoiam uma variedade de produtos utilizados em operações navais. As operações navais de superfície, submarinas, anti-submarinas, caça-minas e operações terra-ar necessitam de produtos de informação náutica muito diversos. Os dados hidrográficos e oceanográficos necessários para a elaboração desses produtos devem estar disponíveis caso se pretenda otimizar o investimento nacional na Defesa.

Turismo

As cartas náuticas de qualidade são particularmente importantes para o desenvolvimento da indústria do turismo, uma atividade economicamente importante, especialmente quando envolve navios de cruzeiro. O potencial da indústria dos navios de cruzeiro é especialmente importante para as nações em desenvolvimento. No entanto, esta importante fonte de receitas não pode ser devidamente desenvolvida se nas zonas remotas de atrações turísticas a segurança da navegação for comprometida ou limitada por falta de cartas náuticas adequadas. O turismo é uma das indústrias com mais crescimento do século XXI.

Navegação de Recreio

A comunidade da náutica de recreio representa uma grande percentagem de navegadores. Geralmente, não é obrigatório para as embarcações de lazer que tenham cartas de navegação e os navegadores de recreio muitas vezes não atualizam as suas cartas. No entanto, o advento da informação digital cartográfica permite ao navegador de recreio ter informação cartográfica atualizada prontamente disponível juntamente com muitos tipos de informação de valor acrescentado, tal como a localização das marinas, etc. Esta evolução é susceptível de dar origem a que o sector recreativo de lazer venha a tornar-se um utilizador, cada vez maior, de dados hidrográficos, à medida que mais pessoas podem adquirir embarcações de recreio. Também, as receitas provenientes deste sector estão-se a tornar cada vez mais importantes para muitos países.

Como se pode ver, é extremamente difícil quantificar os benefícios económicos e comerciais decorrentes de um programa hidrográfico nacional, mas vários estudos realizados por estados-membros da OHI têm sugerido que o custo benefício é de cerca de 1:10 para as principais nações marítimas. É também verdade que os volumes do comércio marítimo estão continuamente a crescer e, no futuro, a exploração e o desenvolvimento sustentável das zonas marítimas nacionais tornar-se-á cada vez mais importante para os governos e para a indústria.

Importa igualmente assinalar que, na linguagem económica, o programa hidrográfico nacional é considerado como um "bem público". Isso significa que os serviços necessários para o interesse público não serão fornecidos em níveis ótimos apenas pelas leis do mercado. Em cada estado-membro da OHI a prestação de serviços hidrográficos é uma responsabilidade do governo central, como uma componente essencial do desenvolvimento da economia nacional. Esta global e importante dimensão económica do trabalho tem sido, por vezes, obscurecida pela ênfase no sector de interesses servidos pelos serviços hidrográficos, e mais recentemente por via legislativa ou requisitos regulamentares. É claro que a dimensão económica da Hidrografia merece mais atenção do que a que tem recebido no passado.

CAPÍTULO 1 – PRINCÍPIOS DE LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS

1. INTRODUÇÃO

Os levantamentos hidrográficos lidam com a configuração do fundo marinho, áreas adjacentes aos oceanos, lagos, rios, portos, e outras formas de água na Terra. No sentido lato, os levantamentos hidrográficos são definidos como levantamentos em áreas com água. No entanto, atualmente podem incluir uma maior diversidade de objetivos tais como: medição de marés, correntes, gravidade, magnetismo terrestre, e determinação das propriedades físicas e químicas da água. O principal objetivo da maior parte dos levantamentos hidrográficos é obter dados para a compilação das cartas náuticas com ênfase nas estruturas que afetem a segurança da navegação. Outros objetivos incluem a aquisição da informação necessária para relacionar os produtos de navegação marítima com a administração das zonas costeiras, engenharia e ciência1.

Os objetivos dos levantamentos hidrográficos são2:

- Aquisição, com recurso a levantamentos sistemáticos efetuados no mar, ao longo da costa e em terra, de dados georreferenciados relacionados com:
    - ♦ Configuração da linha de costa, incluindo infra-estruturas construídas pelo homem para navegação marítima, ou seja, todas as estruturas em terra com interesse para o navegador.
    - ♦ Profundidades nas áreas de interesse (incluindo todos os potenciais perigos para a navegação e outras atividades marítimas).
    - ♦ Composição do fundo marítimo.
    - ♦ Marés e correntes.
    - ♦ Propriedades físicas da coluna de água.
- Processar a informação adquirida de forma a criar uma base de dados capaz de alimentar a produção de mapas temáticos, cartas náuticas e outro tipo de documentação com os seguintes propósitos:
    - ♦ Navegação marítima e gestão de tráfego.
    - ♦ Operações Navais
    - ♦ Administração de zonas costeiras.
    - ♦ Preservação do meio marinho.
    - ♦ Exploração dos recursos marinhos e colocação de cabos submarinos/oleodutos.
    - ♦ Definição das fronteiras marítimas (implementação da Lei do Mar).
    - ♦ Estudos científicos.

---

[1] NOAA Hydrographic manual Part-1, Edição de 4 de Julho 1976, P-2-1, www.thsoa.org/pdf/hm1976/part1ch123.pdf

[2] Organização Hidrográfica Internacional, Mónaco, National Maritime Policies and Hydrographic Services (M-2), P-13.

Os navegadores têm uma fé inquestionável nas cartas náuticas, de tal forma que, na ausência da representação de um perigo, eles acreditam na sua inexistência. A carta náutica é o produto final de um levantamento hidrográfico. A sua exatidão e adequação estão dependentes da qualidade dos dados adquiridos nos levantamentos hidrográficos[3]. A carta náutica é um retrato gráfico do ambiente marítimo representando a natureza e a forma da costa, as profundidades e caracterização e configuração do fundo marinho, a localização dos perigos á navegação, os ciclos de maré, as ajudas á navegação construídas pelo homem e as características do magnetismo terrestre. A forma atual de uma carta pode variar da carta tradicional em papel até à carta electrónica.

Uma carta electrónica não é meramente a versão digital da carta de papel; ela introduz uma nova metodologia de navegação com capacidades e limitações bastante diferentes da carta em papel. Segundo a Organização Marítima Internacional, a carta electrónica tornou-se legalmente equivalente à carta de papel. Divergências quanto aos objetivos levaram à criação de várias cartas denominadas de “nova geração”. As cartas batimétricas construídas a partir de dados digitais ou de dados adquiridos com sondadores multifeixe permitem visualizar o relevo submarino por meio de tons de azul e isóbatas. De modo análogo, as imagens obtidas com sonares laterais têm sido publicadas em cartas ou atlas de forma a caracterizar as grandes estruturas geomorfológicas. Tais cartas, já não têm como objetivo principal a segurança da navegação, mas sim o conhecimento do ambiente requerido para navegação submarina, pesquisa oceanográfica ou aplicações industriais, como a colocação de cabos submarinos, exploração mineira e petrolífera submarina.

Os levantamentos hidrográficos estão a passar por mudanças fundamentais na tecnologia de medição. Os sistemas multifeixe acústicos e os sistemas laser aerotransportados providenciam praticamente uma cobertura e medição total do fundo em contraste com os anteriores sistemas de aquisição por perfis batimétricos. A capacidade para posicionar os dados com exatidão no plano horizontal aumentou imenso devido à disponibilidade dos sistemas de posicionamento por satélite, particularmente quando são aplicadas técnicas diferenciais. Este avanço na tecnologia foi particularmente significativo pois permite que os navegadores determinem a sua própria posição com maior exatidão do que a dos dados usados na construção de cartas náuticas[4] mais antigas.

2. LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS

2.1. Especificações dos Levantamentos

Os requisitos para os levantamentos hidrográficos surgem como resultado de decisões políticas, de informações e pedidos dos utilizadores dos produtos, das necessidades de defesa nacionais e outras exigências. Numa fase inicial, o projeto de um determinado levantamento hidrográfico é sujeito a uma avaliação de todos os requisitos conhecidos e o estabelecimento de prioridades. Entre os diversos fatores objetivos e subjetivos que influenciam o estabelecimento de prioridades estão os objetivos nacionais e da agência produtora, as medidas quantitativas e qualitativas da navegação marítima, a adequabilidade dos levantamentos existentes e a taxa de variação da topografia submarina na área[5].

Para acomodar de forma sistemática os requisitos das diferentes exatidões de acordo com as áreas a serem levantadas foram definidas quatro ordens de levantamentos pela Organização

---

[3] NOAA Hydrographic manual Part-1, Edição de 4 de Julho 1976, P-2-1, www.thsoa.org/pdf/hm1976/part1ch123.pdf

[4] Organização Hidrográfica Internacional, Mónaco, National Maritime Policies and Hydrographic Services (M-2), P-19.

[5] NOAA Hydrographic manual Part-1, Edição de 4 de Julho 1976, P-2-1, www.thsoa.org/pdf/hm1976/part1ch123.pdf

Hidrográfica Internacional na publicação S-44 5ª edição 2008. Estes requisitos estão descritos nos parágrafos subsequentes. A tabela 1 resume os requisitos gerais mas deve ser lida em conjunto com a norma completa6.

2.1.1. Ordem Especial

Esta é a ordem mais rigorosa das ordens e o seu uso é intencionado só para áreas críticas onde navegação típica tem reduzido resguardo ao fundo. Devido ao resguardo ao fundo ser crítico, é necessário efetuar uma busca total do fundo e o tamanho das estruturas a serem detectadas é mantido deliberadamente reduzido. Considera-se pouco provável que levantamentos de Ordem Especial sejam efetuados em áreas com mais de 40 metros de profundidade. Exemplos de áreas que possam justificar levantamento de Ordem Especial são os portos e as respectivas aproximações, as zonas de atracação e os canais de navegação.

2.1.2. Ordem 1a

Esta ordem é intencionada para áreas onde a profundidade é suficientemente reduzida para se considerar que estruturas no fundo do mar constituem uma preocupação para o tipo de navegação de superfície esperada para a área, mas onde o resguardo ao fundo não é tão crítico como nas áreas alvo de levantamentos de Ordem Especial. Devido a essa preocupação é requerida uma busca total do fundo, no entanto a dimensão das estruturas a detectar é maior que a definida para a Ordem Especial. O resguardo ao fundo é menos crítico à medida que a profundidade aumenta, por isso a dimensão das estruturas a detectar aumenta em áreas onde a profundidade é superior a 40 metros. Em princípio, os levantamentos de Ordem 1a devem ser realizados apenas em áreas com menos de 100 metros de profundidade.

2.1.3. Ordem 1b

Esta ordem é intencionada para áreas onde a profundidade é inferior a 100 m e onde um conhecimento geral do fundo é considerado adequado para o tipo de navegação esperada. Nesta ordem de levantamento não é requerida a busca total do fundo, o que significa que algumas estruturas possam não ser detectadas, sendo o tamanho dessas estruturas definido pelo espaçamento máximo entre fiadas. Um exemplo será uma área onde as características do fundo são tais que a probabilidade de encontrar uma estrutura no fundo do mar que represente perigo para a navegação de superfície esperada é reduzida.

2.1.4. Ordem 2

Esta é a ordem menos rigorosa e destina-se a áreas onde a profundidade é tal que um conhecimento geral do fundo é considerado adequado. Neste tipo de levantamento não é requerida a busca total do fundo. Este tipo de levantamento é recomendado para áreas de profundidades superiores a 100 m. Para essas profundidades, é extremamente improvável não seja detectada por um levantamento de Ordem 2 a existência de estruturas com dimensões suficientemente grandes com impacto na navegação de superfície.

2.2. Planeamento do levantamento

O planeamento de levantamentos hidrográficos cobre uma vasta gama de atividades desde o desenvolvimento da ideia para o levantamento no Serviço Hidrográfico, a subsequente elaboração das Instruções do Projeto/Instruções Técnicas (IT), ao planeamento detalhado e preparação da plataforma de sondagem de forma a cumprir a tarefa prática.

---

[6] Organização Hidrográfica Internacional, Mónaco, IHO Standards for Hydrographic Surveys (S-44), 5ª edição 2008.

O planeamento de levantamentos implica ligações inter-governamentais, cooperação diplomática e atribuição de numerosos e dispendiosos recursos. Cobre também a ordenação por prioridades dos recursos e das tarefas diárias da plataforma empregue na sondagem. O planeamento de sondagem envolve a integração coerente de todas estas atividades de forma a realizar uma tarefa específica.

Um levantamento começa muito antes da fase de aquisição de dados. Antes, devem ser decididos alguns elementos, tais como7:

- Área exata do levantamento.
- Tipo de levantamento e escala para satisfazer os requisitos da carta náutica a ser produzida.
- Extensão do levantamento (curta ou longa duração).
- Plataformas disponíveis (navios, lanchas, aeronaves, navios contratados, acordos de cooperação).
- Trabalhos de apoio necessários (fotografia aérea ou de satélite, geodesia, marés).
- Fatores limitativos (orçamento, constrangimentos políticos e operacionais, limitações dos sistemas de posicionamento, logística).

[7] Bowditch – The American Practical Navigator, P-411, http://www.irbs.com/bowditch/

Tabela 1 – Requisitos Mínimos para Levantamentos Hidrográficos

(***para ser lido em conjugação com o texto integral da publicação S-44 5ª Edição 2008***)

Referência	Ordem	Especial	1a	1b	2
Capítulo 1	Descrição de áreas	Áreas onde o resguardo ao fundo é crítico	Áreas com profundidades inferiores a 100 metros onde o resguardo ao fundo é menos crítico, mas onde possam existir estruturas que constituem preocupação para a navegação de superfície	Áreas com profundidades inferiores a 100 metros onde o resguardo ao fundo não é considerado uma limitação para a navegação de superfície esperada para a área	Áreas com profundidades geralmente superiores a 100 metros onde o conhecimento geral do fundo é considerado adequado
Capítulo 2	Máxima THU admissível (95% de nível de confiança)	2 metros	5 metros + 5% da profundidade	5 metros + 5% da profundidade	20 metros + 10% da profundidade
Parágrafo 3.2 e nota 1	Máxima TVU admissível (95% de nível de confiança)	a = 0.25 metros b = 0.0075	a = 0.5 metros b = 0.013	a = 0.5 metros b = 0.013	a = 1.0 metros b = 0.023
Glossário e nota 2	Busca total do fundo	Obrigatória	Obrigatória	Não obrigatória	Não obrigatória
Parágrafo 2.1 Parágrafo 3.4 Parágrafo 3.5 e nota 3	Capacidade de detecção de estruturas	Estruturas cúbicas>1 metro	Estruturas cúbicas>2 metros, em profundidades até aos 40 metros ou 10% da profundidade para além dos 40 metros	Não aplicável.	Não aplicável.
Parágrafo 3.6 e nota 4	Espaçamento máximo recomendado entre fiadas de sondagem	Não aplicável. Requerida busca total do fundo	Não aplicável. Requerida busca total do fundo	3 x profundidade média ou 25 metros, o que for maior Para LIDAR batimétrico um espaçamento local de 5 x 5 metros	4 x profundidade média
Capítulo 2 e nota 5	Ajudas à navegação fixas e objetos conspícuos para a navegação (95% de nível de confiança)	2 metros	2 metros	2 metros	5 metros
Capítulo 2 e nota 5	Linha de costa e topografia de costa menos importante para a navegação (95% de nível de confiança)	10 metros	20 metros	20 metros	20 metros
Capítulo 2 e nota 5	Posição média das ajudas à navegação flutuantes (95% de nível de confiança)	10 metros	10 metros	10 metros	20 metros

Ver as notas na página seguinte. (Texto integral da S-44 5 ª Edição disponível gratuitamente a partir de www.iho.org)

Notas:

1. Reconhecendo que existem incertezas constantes e incertezas dependentes da profundidade que afetam a incerteza na determinação das profundidades, utiliza-se a formula em baixo para calcular, a um nível de confiança de 95%, a incerteza vertical total (TVU) máxima admissível. Os parâmetros “a” e “b” para cada Ordem, indicados na tabela, juntamente com a profundidade “d” são introduzidos na formula de modo a calcular a TVU máxima admissível para uma profundidade especifica:

$$\pm\sqrt{\left[a^2 + (b*d)^2\right]}$$

   Onde,

   a — representa a porção da incerteza que não varia com a profundidade

   b — é o coeficiente que representa a porção da incerteza que varia com a profundidade

   d — é a profundidade

   b*d — representa a porção de incerteza que varia com a profundidade

2. Para questões de segurança da navegação, o uso de um sistema de varredura mecânica com exatidão de forma a garantir uma profundidade mínima de segurança na área, pode ser considerado suficiente para levantamentos de Ordem Especial e Ordem 1a.

3. Uma estrutura cúbica é definida como um cubo regular. Deve ser notado que os requisitos de capacidade de detecção de estruturas da Ordem Especial e Ordem 1a da OHI são requisitos mínimos. Em certas circunstâncias poderá ser necessário aos Serviços/Organizações Hidrográficas detectar estruturas mais pequenas para minimizar o risco de não detecção de perigos para a navegação de superfície. Para a Ordem 1a, foi considerado o relaxamento do critério de detecção de estruturas devido a ser considerado o valor máximo esperado para o calado de navios

4. O espaçamento de fiadas pode ser aumentado se forem utilizados procedimentos para garantir uma adequada densidade de sondagem. O “espaçamento máximo entre fiadas” deve ser interpretado da seguinte forma:

   - espaçamento entre fiadas para sistemas de feixe simples, ou a

   - distância entre os limites externos utilizáveis dos sistemas de varrimento.

5. Estas só se aplicam onde tais medições são necessárias para o levantamento

2.2 Continuação do Planeamento do Levantamento

Uma vez decididas estas questões, toda a informação na área do levantamento é revista. Isto inclui fotografia aérea, dados de satélite, mapas topográficos, cartas náuticas existentes, informação geodésica, informação de marés e qualquer outra coisa que afete o levantamento. Normalmente, o Serviço Hidrográfico leva a cabo este planeamento estratégico dos levantamentos em cooperação com outras organizações e, a partir daí serão compiladas e emitidas pelo Hidrógrafo responsável as Instruções do Projeto/Instruções Técnicas (IT). As ITs, dependendo do tipo de levantamento, deverão incluir parte ou a totalidade dos seguintes pontos[8]:

---

[8] Admiralty, General Instructions for Hydrographic Surveys (GIHS), 6ª edição, 1992, P-5-3.

- Limites do levantamento.
- Resolução e requisitos dos dados.
- Método de controlo do posicionamento, juntamente com a exatidão esperada.
- Uso que será feito do sonar.
- Como deve ser efetuado o relatório do levantamento e a data alvo para conclusão, se adequado.
- Descrição generalizada, e por vezes detalhada, das razões para as prioridades do levantamento, métodos a serem utilizados, orientações, instruções e outras informações orientadoras consideradas relevantes.

Além disso, em apêndice às ITs deverão ser dadas instruções ou orientações relativas ao seguinte:

- *Datum* horizontal, projeto e quadrícula a ser usada.
- Navios afundados na área.
- Tipo de observações necessárias e *datum* vertical utilizado nas marés.
- Instruções particulares referentes a recolha de dados oceanográficos, geofísicos, para os roteiros, fotografia aérea, etc.

Após a recepção das ITs, o hidrógrafo responsável pelo planeamento do levantamento compila a informação de velocidade do som na água, climatologia, dados de claridade de água, dados de levantamentos anteriores e a informação constante na listas de luzes, roteiros e avisos aos navegantes. A informação de marés é cuidadosamente revista e são escolhidos os locais para os marégrafos. Os dados de controlo vertical locais são inspecionados de forma a antever se cumpre os requisitos de exatidão pretendidos, para que os marégrafos possam ser ligados ao *Datum* vertical usado no levantamento. O controlo horizontal é revisto de forma a verificar a exatidão e se existem discrepâncias, e determinar a localização de pontos de apoio à sondagem para a localização dos sistemas de posicionamento.

Para a eficiência do levantamento deve ser desenvolvido um plano geral de sondagem e subsequentemente planos específicos localizados. O plano geral do levantamento indica o modo como o levantamento é planeado, executado e processado. Este plano deve ser bem idealizado e robusto de forma a ter em conta o maior número de contingências possíveis. Este plano inclui o treino, *software*, atualizações e manutenção de equipamentos, logística, requisitos dos dados, prazos, segurança e condições meteorológicas. O plano específico local deverá incluir notificações locais, planeamento das fiadas, *datum*, densidade de dados, equipamento e pessoal específico, que irá atender aos requisitos do plano geral de sondagem. Alguns tópicos são descritos de seguida:

- O treino de hidrógrafos deverá ser efetuado durante o levantamento de forma a assegurar que as competências adequadas são mantidas.

- O *software* de processamento e gravação dos dados é crítico num levantamento. Este deverá ser de utilização amigável e o pessoal envolvido na sua utilização deverá estar bem familiarizado com todas as suas funções.

- Deverá ser selecionado de forma conveniente o tipo de embarcação e equipamentos de sondagem. Alguns equipamentos serão mais apropriados para alguns tipos específicos de levantamentos enquanto outros terão uma utilização mais generalizada. É essencial que seja efetuada uma seleção adequada.

- O fim a que se destina o levantamento ditará os requisitos dos dados (densidade, cobertura e exatidão). Porém, o máximo de requisitos deverão ser abordados, se não houver nenhum acréscimo no custo e na duração do levantamento.

- Os prazos são frequentemente um elemento crítico num levantamento hidrográfico. A necessidade dos dados está normalmente associada a um prazo específico, restringindo em tempo a aquisição e processamento dos dados. Isto requer que os recursos humanos e equipamentos sejam os adequados para satisfazer essa necessidade. Em alguns casos, se o prazo não pode ser cumprido, então o levantamento simplesmente não será pedido e serão usadas outras fontes. Considerando isto, é importante planear e analisar todos os aspectos do planeamento geral do levantamento tendo em vista o elemento chave: a capacidade de cumprir o prazo.

- A segurança é primordial. É da responsabilidade do encarregado do trabalho de campo avaliar todas as situações potenciais de perigo. Caso exista algum perigo identificado, este necessita de ser considerado antes de se continuar com a atividade.

- As comunicações ás autoridades locais/ capitanias devem ser efetuadas com a devida antecedência de forma a estes poderem informar os marítimos locais.

- As fiadas principais num levantamento com sistema multifeixe deverão seguir a batimetria. Isto permite reduzir as variações na cobertura do fundo devido às diferenças nas profundidades. Porém, ao usar um sistema de feixe simples, as fiadas principais de sondagem devem ser perpendiculares à batimetria, permitindo desta forma detectar mudanças no fundo marinho. As fiadas principais de sondagem nos sistemas de multifeixe também deverão ser adequadamente espaçadas de forma a satisfazer os requisitos do levantamento garantindo a adequada densidade de dados ou a sobreposição entre faixas adjacentes.

- O *Datum* de referência é parte integrante dos dados. É requerido, pela boa prática hidrográfica, a indicação, de forma clara no levantamento publicado, a referência horizontal e vertical utilizada e os procedimentos para estabelecer o *Datum* para o levantamento. O WGS-84 está a ser utilizado mundialmente.

- A densidade de dados irá variar com base no tipo de levantamento, profundidade de água e necessidade. O método de levantamento vai ser determinado pelos equipamentos disponíveis, o pessoal e as condições locais na área de sondagem. Se só estiver disponível um sistema de feixe simples a densidade de dados será menor. No caso dum sistema multifeixe, quanto maior a profundidade menor a densidade de dados, exceto se forem efetuadas múltiplas passagens. O tipo de levantamento irá ditar os requisitos de redundância ou de sobreposição dos dados.

- É importante normalizar os equipamentos o mais possível de forma a limitar o treino, manutenção e despesas de operação.

2.3. Aquisição de dados

A aquisição de dados depende de numerosos fatores. Os requisitos do levantamento, a plataforma e equipamento disponível e do tempo especificado para uma tarefa particular irá determinar a quantidade de dados a ser recolhidos. Uma grande quantidade de dados pode ser adquirida utilizando os equipamentos e *software*s hidrográficos mais recentes tais como os sistemas multifeixe. Especificamente, o propósito do levantamento irá ditar os requisitos dos dados (densidade, cobertura e exatidão dos dados). Porém, se não houver impactos no prazo e nos custos, poder-se-á adquirir a maior quantidade de dados possível durante o levantamento. A aquisição de dados deve ser efetuada de forma metódica, começando num extremo da área e terminando no outro.

Deve ser notado que redundância de dados não é a mesma coisa que densidade de dados. Densidade de dados é o número de sondas por unidade de área, enquanto que redundância de dados é a quantidade de dados que se sobrepõem ou dados que são adquiridos no mesmo local em alturas diferentes. O tipo de levantamento define a redundância e os requisitos de sobreposição de dados. A densidade de dados é importante em levantamentos com cobertura total de fundo assegurando que os objetos/obstruções sejam localizadas. Estes conceitos necessitam de estar perfeitamente compreendidos para que o requisitante e o executante do levantamento o façam de forma a garantir os padrões especificados pela OHI.

2.4. Processamento de dados

O processamento de dados deve ser sujeito a um processo rigoroso de controlo de qualidade. Os dados hidrográficos ou são adquiridos por sistemas automatizados ou são convertidos em formatos automatizados. A fase final de processamento e impressão é efetuada em computadores de escritório ou a bordo. A metodologia padrão de um levantamento hidrográfico é a recolha – processamento – recolha9. Desta forma os dados adquiridos são processados e subsequentemente as zonas de falhas e as áreas com dados duvidosos são levantadas novamente. A maioria dos sistemas hidrográficos é capaz de efetuar as operações finais no campo, em que os dados do levantamento são adquiridos, processados, impressos e analisados no campo. É necessário um planeamento abrangente do levantamento para uma abordagem integrada que gere a linha base para todas as operações em tempo real e de pós processamento no sistema. Um exemplo deste modelo é ilustrado a seguir10:

Dados +Processo = Trabalho

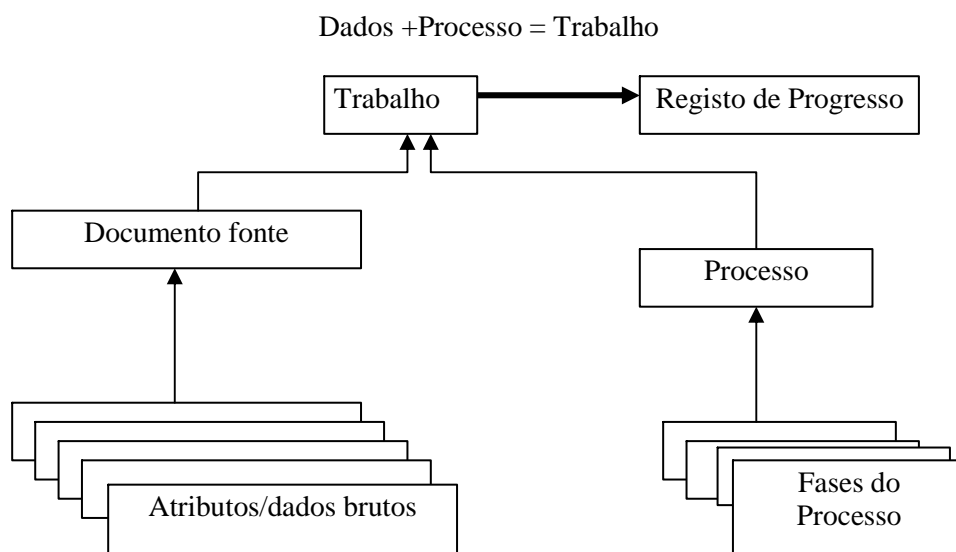



Figura 1.1 – "Modelo para o processamento de dados"

Este modelo descreve os diferentes processos que, idealmente, podem controlar a informação hidrográfica. O processo contém diversos passos. Os comentários de cada passo do processo conjuntamente com os resultados e estatísticas deverão ser guardados num registo de progresso. Similarmente, a origem e informação geral de qualidade de quaisquer dados novos será descrita num documento de origem armazenado na base de dados.

---

[9] B. Bourgeois, F. Petry, M. Harris & P. Alleman, “A GIS Integration Approach for Dynamically Reconfigurable Surveys”, The Hydrographic Journal, January 1999, P 3-10.

[10] Pentti Junni & Ralf Lindgren, "The Hydrophic Information System – Co-operation, Concept and Future”, Finish Maritime Administration, http://www.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/pap619/p619.html

O requisito fundamental do processamento de dados é gerar dados validos; dados que tenham sido suficientemente processados i.e. que passaram por vários procedimentos em diversas fases ou que se encontrem representados de tal forma que possam ser avaliados. Estes procedimentos/etapas de processamento poderão ser aplicados em tempo real ou em pós-processamento mas dever-se-á assegurar que o produto final se encontra em conformidade com os padrões e especificações definidas pela OHI.

Diversos cuidados deverão ser tidos em conta ao processar os dados brutos. Deverá ser assegurado que todos os erros foram eliminados e que foram aplicadas as correções necessárias, e.g. os fatores de calibração e os desvios (*offsets*) dos sensores, ou aplicados os valores variáveis tais como a velocidade propagação do som na água e os valores da maré. O processamento deverá esforçar-se para usar todas as fontes disponíveis de informação de forma a confirmar a presença de sondas significativas para a navegação e dados de qualidade. Abaixo descrevem-se, de forma não exaustiva, alguns passos do processamento e a sua sequência, que deverão ambos ser interpretados como uma mera indicação11:

- **Posição**: Integração dos dados de posicionamento de diversos sensores (se necessário), validando os dados de posicionamento e eliminando os saltos de posicionamento.

- **Correções de profundidade**: Deverão ser aplicadas correções para variações do nível de água, medições dos sensores de atitude e variações do caimento da embarcação (e.g. variações de *squat* com a velocidade; e variações devido ao consumo de combustível ao longo do tempo). Deverá ser possível reprocessar os dados aos quais foram aplicadas correções em tempo real.

- **Correções de atitude**: Dados de atitude (variações de proa, cabeceio e balanço) deverão ser validados e os saltos eliminados.

- **Velocidade de propagação do som na água**: As correções devido á refração deverão ser calculadas e aplicadas; Se estas correções já tiverem sido aplicadas em tempo real durante o levantamento, deverá ser possível reprocessar usando outro perfil de velocidade. Com o advento dos sistemas multifeixe a aplicação da velocidade do som tornou-se critica.

- **Integração das posições com as profundidades**: A latência (atraso em tempo) e os desvios geométricos entre os sensores têm que ser tidos em consideração.

2.5. Análise de dados

A exatidão dos resultados das medições nos levantamentos deverá ser sempre mencionada, de forma a mostrar o quanto eles são bons ou confiáveis. Em virtude de nenhum equipamento estar completamente livre de erros, esses erros são introduzidos em todas as observações. Além disso, são introduzidos erros nos cálculos através das aproximações feitas pelas fórmulas ou pelos arredondamentos. As técnicas de observação são concebidas de forma a eliminar todos os erros exceto os pequenos erros aleatórios, que podem ser analisados através de técnicas rigorosas de forma a quantificar a exatidão das observações. De seguida são descritos vários erros, as respectivas dimensões e os procedimentos para a sua eliminação:

ERROS	DIMENSÃO	ELIMINAÇÃO

[11] IHO, Mónaco, Carta Circular 45/2001, “Guidelines for the Processing of High Volume Bathymetric Data”, Para-3.2, datada de 5 Outubro de 2001.

Grosseiro	Grande	Treino, procedimentos cuidadosos
Constantes	Geralmente pequeno, mas fixo	Calibrações ou procedimentos
Periódicos	Geralmente pequeno, mas variável	Procedimentos (repetição), mesmo para grandes erros
Aleatórios	Geralmente pequeno	Apenas reduzidos pela repetição

Os erros Constantes, Sistemáticos e Periódicos são frequentemente denominados como ”Erros Sistemáticos”. Os erros Constantes e Sistemáticos são acumulativos e portanto não podem ser reduzidos através de repetição. Os erros aleatórios estão presentes em todas as observações, por isso os resultados dessas observações nunca podem ser exatos. Estes erros tanto podem ser positivos como negativos e o mais provável é que o seu tamanho seja reduzido.

É importante referir que não há nenhum método de ajustamento que se possa obter uma solução precisa a partir de observações imprecisas. Todos os erros deverão ser eliminados antes do ajustamento, exceto os pequenos erros aleatórios. Porém, poderá ser possível isolar um erro sistemático através da análise, desde que se tenha suficientes dados disponíveis. É claramente desejável saber quando existem erros Constantes e/ou Sistemáticos nas observações. Os erros constantes são frequentemente de difícil detecção, e podem só ficar aparentes durante os cálculos ou em verificações específicas, como por exemplo, a detecção de uma má calibração de um cristal de um telurómetro, este só pode ser detectado se compararmos esse distanciómetro com outro. Contudo, os erros periódicos e aleatórios poderão ser descobertos analisando uma série de observações. A diferença algébrica entre cada observação e a média de todas as observações é denominado o Resíduo dessa observação. Se só existirem erros aleatórios nas observações, então os Resíduos variarão aleatoriamente em magnitude e sinal. No caso de existirem erros sistemáticos as magnitudes e/ou os sinais dos Resíduos mostrarão tendências sistemáticas. De forma a facilitar a análise dos dados, os atributos dos dados brutos e metainformação deverão ser mencionados para subsequente avaliação.

2.6. Qualidade dos dados

A qualidade dos dados é referente à sua aptidão para utilização. Tem a haver com até que ponto os dados ou o mapa resultante satisfazem as necessidades da pessoa que a julga. Os erros são a diferença entre os dados reais e os verdadeiros. Os erros são de primordial importância para a qualidade. Muitas vezes, de uma forma generalizada, o termo erro descreve todo o tipo de efeitos que façam divergir os dados dos valores que devem apresentar12. De forma a permitir uma avaliação qualitativa dos dados do levantamento é necessário registar ou documentar certa informação conjuntamente com os dados. Essa informação é importante de forma a permitir a exploração/manuseamento dos dados do levantamento por uma variedade de utilizadores com diferentes requisitos, especialmente quando esses requisitos não são conhecidos na altura da aquisição dos dados. Ao processo de documentação da qualidade de dados chama-se atribuição de dados; a informação sobre a qualidade de dados é designada por metainformação. A metainformação deverá incluir pelo menos a seguinte informação13:

- ♦ Informações gerais sobre o levantamento, como a data, área, equipamento utilizado, nome da plataforma utilizada no levantamento.

---

[12]Patrick McGlamery, "Issues of Authenticity of Spatial data”, Universidade de Connecticut E.U.A., 66ª Conferência geral e Conselho da IFLA , http://magic.lib.uconn.edu.

[13] International Hydrographic Organization, Monaco, IHO Standards for Hydrographic Surveys (S-44), secção 5.2,5ª edição 2008.

- O sistema de referência geodésico usado, i.e. *Datum* horizontal e vertical; incluindo as ligações ao WGS 84, se foi utilizado um *Datum* local.

- Procedimentos de calibração e resultados.

- Velocidade de propagação do som na água.

- Redução e *Datum* maregráfico.

- Exatidões alcançadas e os respectivos níveis de confiança.

A metainformação deverá estar preferencialmente em formato digital e fazer parte integrante do registo do levantamento. Se não for exequível, deverá ser incluída informação semelhante na documentação do levantamento. A qualidade dos dados pode ser alcançada pelo controle de qualidade efetivo por meios automáticos ou manuais14.

- **Controlo de qualidade automático (Não interativo)**: Neste tipo de controlo, as coordenadas (i.e. posições e profundidades) adquiridas deverão ser controladas automaticamente por um programa que use algoritmos estatísticos adequados que se encontrem documentados, testados e que produzam repetibilidade e resultados precisos.

- **Controlo de qualidade manual (interativo)**: Neste tipo de controlo, o uso de ferramentas 3D é fortemente recomendado. Estas ferramentas deverão permitir efetuar facilmente "*zooms*" dos dados. O processo interativo deverá oferecer diferentes modos de visualização, como por exemplo, visualização das profundidades, dos erros, perfis individualizados, individualização de cada feixe, imagem de retrodifusão (*backscatter*), etc. Conjuntamente com a visualização dos dados, o *software* deverá permitir visualizar outra informação útil como por exemplo a linha de costa, navios afundados, ajudas à navegação, etc. A edição dos dados deverá ser possível em todos os modos e deverá incluir uma opção de auditoria. Se possível, os dados a visualizar deverão estar georreferenciados. Pelo menos para levantamentos de Ordem Especial e Ordem1, as chamadas de atenção (*flags*) que apareçam durante a fase automática correspondentes a profundidades menores que as da área circundante, deverão requer explicitamente ação por parte do operador. Se, durante a fase automática, o operador rejeitar uma chamada de atenção essa chamada de atenção deverá ficar documentada. Se o operador colocar uma chamada de atenção, o tipo de chamada deve ser identificada.

2.7. Qualidade de dados – Apresentação

2.7.1. Diagramas de fiabilidade da carta

Tradicionalmente, a avaliação da qualidade dos dados batimétricos tem sido um procedimento subjetivo. Para o utilizador, a qualidade dos dados apresentados é avaliada pelo diagrama de fiabilidade da carta. Este diagrama é mostrado como uma inserção na carta e indica as áreas levantadas juntamente com algum detalhe, por exemplo, escala do levantamento, espaçamento entre fiadas, ordem e ano do levantamento. Infelizmente, a própria natureza da informação mostrada num diagrama de fiabilidade, de forma a permitir ao utilizador aferir a qualidade dos dados, está fortemente limitada. Por exemplo, se o utilizador da carta não souber o que significa um levantamento efetuado antes de 1970, ou o que se pode deduzir de um espaçamento entre

---

[14] IHO, Monaco, Circular Letter 45/2001, "Guidelines for the Processing of High Volume Bathymetric Data", Para-3.3, datada de 5 Outubro 2001

fiadas de "n" metros, então o diagrama de fiabilidade será de pouca utilidade na interpretação da qualidade dos dados de profundidade.

O conceito original do diagrama de fiabilidade era classificar em bom, satisfatório ou pobre a qualidade dos dados do levantamento e representar essas classificações num diagrama. A sua intenção era proporcionar ao navegante a capacidade de avaliar o perigo de se afastar da rota recomendada. No entanto, houve uma preocupação crescente devido à complexidade do diagrama de fiabilidade e à dificuldade em manter a simplicidade adequada para o utilizador da carta. Se estes forem demasiados complicados tornam-se difíceis de construir em termos cartográficos, são mais propensos a erros na construção e a sua utilidade será ignorada pelos navegantes.

Os diagramas de fiabilidade ficaram aquém do seu objetivo fundamental que era providenciar uma indicação simples da qualidade dos dados para os navegantes. Além disso, dadas as capacidades de navegação precisa que a CEN (Carta Electrónica de Navegação) e o ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*) necessitam, os utilizadores requerem uma avaliação objetiva da qualidade dos dados de forma a usarem prudentemente a informação disponível. Tornou-se necessário criar uma alternativa ao diagrama de fiabilidade como indicador final da qualidade.

Os diagramas de compilação e variações similares apresentam as mesmas limitações.

2.7.2. Zonas de Confiança (ZOC)

O conceito de ZOC foi desenvolvido pela OHI para providenciar um meio de classificar os dados batimétricos. As ZOC providenciam ao navegante, de uma forma simples e lógica, a confiança que a autoridade nacional competente tem num dado conjunto de dados batimétricos. Procuram classificar áreas para navegação, identificando os diferentes níveis de confiança que podem ser colocados nos dados subjacentes usando uma combinação dos seguintes critérios:

- Exatidão da posição e da profundidade,
- Eficácia da pesquisa do fundo, e
- Conformidade com um plano de qualidade aprovado.

Baseadas neste conceito foram desenvolvidas seis ZOC e subsequentemente aprovadas e incluídas na publicação da OHI IHO S-57. As ZOC A1, A2 e B são baseadas em levantamentos recentes e futuros, especialmente as ZOC A1 e A2 onde é requerida uma pesquisa completa do fundo. As ZOC C e D refletem uma menor exatidão e uma menor qualidade dos dados enquanto a ZOC U representa dados que não estão avaliados na altura da publicação. Está planeado que as ZOCs venham a ser incluídas nas cartas náuticas em papel, em substituição do diagrama de fiabilidade, e nos sistemas eletrónicos de visualização de cartas.

É de realçar que as ZOCs são um padrão cartográfico e não se destinam a ser utilizadas para caracterizar as especificações dos padrões dos levantamentos hidrográficos ou para a gestão da qualidade dos dados. As exatidões nas posições e profundidades especificadas para cada uma das categorias ZOC referem-se aos erros acumulados das sondas representadas e incluem não só os erros inerentes ao levantamento como outros erros introduzidos no processo de produção cartográfica. Nos seguintes parágrafos encontram-se especificadas individualmente cada uma das ZOC:

2.7.2.1. ZOC A1

Os dados de posicionamento e profundidade foram adquiridos de acordo com os procedimentos e exatidões especificadas. Os levantamentos hidrográficos asseguraram cobertura total do fundo e foram efetuados com tecnologia reconhecida, com o objetivo de assegurar que todos os objetos significativos foram detectados e que foram medidas as respectivas profundidades. Tipicamente, o

levantamento terá sido efetuado em WGS 84, usando o sistema DGPS ou pelo menos três linhas de posição com sistemas multifeixe, de varredura de canal ou mecânico. Devido à quantidade de dados adquiridos e o tempo considerável exigido de forma a alcançar este padrão, a ZOC A1 será provavelmente a mais indicada para caracterizar canais críticos, áreas de atracação, áreas com um reduzido resguardo ao fundo, canais de navegação, rotas recomendadas, portos e respectivas aproximações.

2.7.2.2. ZOC A2

Os dados de posicionamento e profundidade foram adquiridos de acordo com os procedimentos e exatidões especificadas. Os levantamentos asseguraram cobertura total do fundo e foram efetuados com tecnologia reconhecida com o objetivo de assegurar que todos os objetos significativos foram detectados e as profundidades medidas. Tipicamente, utilizou-se neste tipo de levantamento um sistema sondador moderno com sonar ou varredura mecânica. Embora as exatidões no posicionamento e profundidades não sejam tão elevadas como na ZOC A1, a cobertura do fundo oceânico deve ser de tal ordem que ofereça um alto nível de confiança na qualidade dos dados ao navegante.

2.7.2.3. ZOC B

Os dados de posicionamento e profundidade foram adquiridos de acordo com os procedimentos e exatidões especificadas. Contudo, não foi alcançada uma pesquisa total do fundo, e apesar de não serem esperadas quaisquer obstruções, estas poderão existir constituindo perigo para a navegação de superfície. Esta ZOC indica ao navegante um nível razoável de confiança na qualidade dos dados. A ZOC B tem as mesmas especificidades na exatidão no posicionamento e profundidades que a ZOC A2 e poderia ser aplicada por exemplo, a levantamentos efetuados com equipamentos modernos onde não se alcançou uma cobertura total do fundo. Um navegante cuidadoso daria maior resguardo ao fundo na área desta ZOC do que nas áreas das ZOC A1 ou A2.

2.7.2.4. ZOC C

Os dados de posicionamento e profundidade são menos rigorosos que os especificados para a ZOC B. Os dados de profundidade podem ser provenientes de diversas fontes como por exemplo sondas obtidas em trânsito, em vez de dados provenientes de levantamentos hidrográficos sistemáticos e controlados. Não é requerida cobertura total do fundo e devem-se esperar anomalias nas profundidades. A ZOC C indica ao navegante que deve navegar com especial cuidado, mantendo uma maior margem de segurança ao fundo indicado na carta.

2.7.2.5. ZOC D

Os dados de posicionamento e profundidade são de muito baixa qualidade ou não podem ser avaliados devido à falta de informação. Não foi efetuada uma pesquisa total do fundo e podem ser esperadas grandes anomalias nas profundidades.

2.7.2.6. ZOC U

A qualidade dos dados batimétricos ainda terá de será avaliada.

Tabela 1.1 - Categoria das Zonas de Confiança nos dados (Tabela ZOC)

1	2	3			4	5
ZOC[1]	**Exatidão no Posicio namento[2]**	**Exatidão nas Profundidades[3]**			**Cobertura do fundo[4]**	**Características típicas dos levantamentos[5]**
A1	± 5 m	= 0,50 + 1% d	Profundidade (m) 10 30 100 1000	Exatidão (m) ±0,6 ±0,8 ±1,5 ±10,5	Pesquisa total do fundo. Todos os objetos significativos foram detectados [4] e as suas profundidades determinadas	Levantamento sistemático[6], controlado, elevada exatidão no posicionamento e nas profundidades, alcançado usando DGPS ou no mínimo três linhas de posição (LDP) de alta qualidade com sistemas multifeixe, canal ou de varredura mecânica
A2	± 20 m	= 1,00 + 2% d	Profundidade (m) 10 30 100 1000	Exatidão (m) ±1,2 ±1,6 ±3,0 ±21,0	Pesquisa total do fundo. Todos os objetos significativos foram detectados [4] e as suas profundidades determinadas	Levantamento sistemático[6], controlado, elevada exatidão no posicionamento e nas profundidades mas inferior a ZOC A1, utilizando um sistema sondador[7] moderno e um sonar ou um sistema de varredura mecânica
B	± 50 m	= 1,00 + 2% d	Profundidade (m) 10 30 100 1000	Exatidão (m) ±1,2 ±1,6 ±3,0 ±21,0	Não alcançada a pesquisa total do fundo; apesar de não serem esperadas quaisquer obstruções poderão existir obstruções, perigos para a navegação de superfície.	Levantamento sistemático[6], controlado alcançando igual exatidão nas profundidades mas menor no posicionamento que ZOC A2, utilizando um utilizando um sistema sondador[7] moderno mas não um sonar ou um sistema de varredura mecânica
C	± 500 m	= 2,00 + 5% d	Profundidade (m) 10 30 100 1000	Exatidão (m) ±2,5 ±3,5 ±7,0 ±52,0	Não alcançada pesquisa total do fundo; esperadas anomalias nas profundidades.	Levantamento com pequena exatidão ou dados adquiridos numa base de oportunidade como por exemplo sondas obtidas em trânsito
D	Pior que na ZOC C	Pior que na ZOC C				Dados de pobre qualidade ou dados que não podem ser avaliados devido à falta de informação.
U		Dados não avaliados				

Notas:

Para escolher a categoria da ZOC, todas as condições enumeradas nas colunas 2 a 4 da Tabela devem ser respeitadas. Os algarismos citados na tabela têm os seguintes significados:

1. *O preenchimento das zonas de confiança indica que aqueles dados em particular obedecem aos critérios mínimos de exatidão no posicionamento e profundidades, cobertura do fundo do mar definidos na Tabela. As categorias das ZOC são definidas de acordo com os padrões cartográficos e não unicamente os padrões para os levantamentos hidrográficos. As exatidões nas posições e profundidades especificadas para cada uma das categorias ZOC referem-se aos erros acumulados das sondas representadas e incluem os erros inerentes ao levantamento como outros erros introduzidos no processo de produção cartográfica. Os dados podem ainda ser classificados por sub atributos do objeto Quality of Data [M_QUAL] de acordo com o seguinte:*

   - *Os atributos {POSACC} (Positional Accuracy) e {SOUACC} (Sounding Accuracy) podem ser utilizados para indicar que as exatidões do posicionamento ou da profundidade são superiores à definida nesta tabela (por exemplo, num levantamento em que não foi adquirida cobertura total do fundo, não pode ser classificado numa zona de confiança mais elevada do que a B; no entanto, se a exatidão do posicionamento foi de, por exemplo ±15 metros, o atributo {POSACC} pode ser utilizado para o indicar).*

   - *Áreas dragadas, em que a profundidade disponível é conhecida rigorosamente, mas que a profundidade do fundo não é rigorosamente conhecida, podem ser codificadas numa zona de confiança mais elevada (A1 ou A2) fornecendo exatidões do posicionamento e da profundidade de dragagem de acordo com o definido nesta tabela. Neste caso, o atributo {DRVAL1} (Depth Range Value 1) pode ser utilizado para especificar a profundidade da dragagem. A exatidão do posicionamento é aplicada aos limites da área dragada.*

   - *Os atributos {SURSTA}, {SUREND} e {TECSOU} poderão ser usados para indicar as datas de início e fim dos levantamentos e as técnicas utilizadas no levantamento hidrográfico.*

2. *A exatidão do posicionamento das sondas representadas é de 95% CI (2.45 sigma) em relação ao Datum referido. Representa o erro acumulado e inclui erros do levantamento, da transformação, da digitalização, etc. A exatidão do posicionamento não necessita ser rigorosamente calculada para as zonas de confiança B, C e D mas pode ser estimada com base no tipo de equipamento, esquema de calibração, precisão histórica do equipamento, etc.*

3. *A exatidão da profundidade das sondas representadas, por exemplo, ZOC A1 = 0,50 metros + 1% d a 95% CI (2.00 sigma), onde d = profundidade em metros na zona crítica. A precisão da profundidade não necessita de ser rigorosamente calculada para as zonas de confiança B, C e D mas pode ser estimada com base no tipo de equipamento, esquema de calibração, precisão histórica do equipamento, etc.*

4. *Os objetos significativos do fundo são definidos como aqueles que se encontram acima das profundidades descritas por mais de:*

   Nota: Os navegantes devem dar o devido resguardo às limitações dos equipamentos de sondagem ao avaliar as margens de segurança a aplicar.

   Profundidade ***Objetos significativos***

<10 metros *> 0.1* profundidade*
10 a 30 metros *> 1.0 metro*
> 30 metros *> (0.1* profundidade) mínima 2,0 metros*

5. *Características típicas de levantamento – Estas descrições devem ser tomadas somente como exemplo.*

6. *Levantamentos controlados e sistemáticos (grau de confiança A1, A2 e B)– um levantamento que contemple fiadas planeadas, num determinado Datum que possa ser transformado para o WGS84*

7. *Sondador moderno – um equipamento de feixe simples de medição de profundidades de alta precisão, geralmente inclui todos os sondadores concebidos após 1970.*

2.8. Produção de dados

A produção final de dados pode ser na forma digital ou analógica. Em seguida é apresentado um diagrama esquemático para caracterizar esta produção:

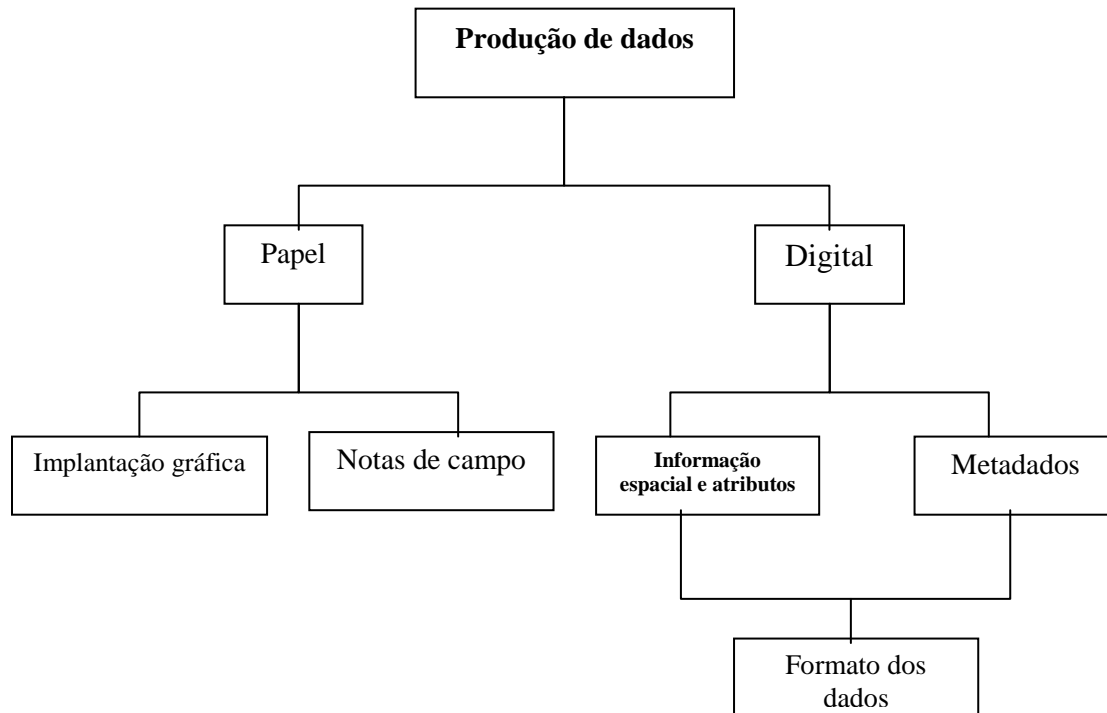



Figura 1.2 - Diagrama esquemático da produção digital

Os **dados digitais** devem estar num formato definido, de forma a poderem ser importados diretamente para a base de dados principal. Como normalmente cada levantamento inclui numerosos documentos de suporte e ficheiros de arquivo, estes deverão estar devidamente identificados e descritos de forma a serem de fácil manipulação pelo pessoal do serviço hidrográfico. Idealmente, os padrões dos procedimentos operacionais e as unidades de campo

deverão estar de acordo com os padrões estipulados pela OHI. Os **dados analógicos** deverão ser claros, concisos e corretamente identificados15.

Depois da aquisição, processamento e impressão dos dados na forma de papel (manuscritos em formato digital), o inventário dos produtos é enviado ao serviço hidrográfico, devendo conter o seguinte16:

- Impressões em papel (implantações gráficas).
- Arquivos digitais das implantações gráficas com respectivos atributos.
- Dados batimétricos brutos e processados.
- Ficheiros de maré, velocidade de propagação do som na água e de configuração da embarcação.
- Ficheiros dados de sonar lateral.
- Relatório descritivo e relatórios complementares.
- Notas de campo e documentação relativa ao processamento.
- Documentação das calibrações.

2.9. Sistema de Informação Náutico (SIN)

O Sistema de Informação Náutico é a combinação de pessoas qualificadas, dados espaciais e descritivos, métodos analíticos, *software* e *hardware*, organizados de forma a automatizar, gerir e disponibilizar informação através da apresentação, i.e. cartas digitais e de papel. Anteriormente, a principal função das bases de dados de cartas náuticas era a produção das cartas náuticas em papel. Os avanços nas tecnologias de navegação fixaram novos requisitos de exatidão, confiança e formatos das cartas náuticas. A exatidão posicional na carta deverá acompanhar o aumento da exatidão dos sistemas de posicionamento. De forma a beneficiar completamente das capacidades dinâmicas dos modernos sistemas de posicionamento surgiu a necessidade do desenvolvimento da cartografia digital em paralelo com a cartografia tradicional. Deste modo, foi desenvolvido um padrão internacional para os dados hidrográficos em formato digital pela Organização Hidrográfica Internacional. Em Novembro de 2000, foi adotada pela OHI a versão 3.1 da publicação S-57 que também é especificada pela Organização Marítima Internacional (OMI) através dos "*Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems* (ECDIS)". A norma S-57 descreve os procedimentos padrão a serem usados na troca de dados hidrográficos digitais entre os Serviços Hidrográficos nacionais e na distribuição de dados digitais e produtos entre os fabricantes de equipamentos, navegadores e outros utilizadores. O produto digital mais significativo disponibilizado no formato de S-57 é a Carta Electrónica de Navegação (CEN). A necessidade crescente pelas CEN levou à criação por parte de numerosos Serviços Hidrográficos de duas linhas de produção separadas, uma para as células CEN e a outra para as cartas náuticas de papel. É essencial para a segurança de navegação que os produtos não estejam

---

[15] http://www.hydro.navy.gov.au/news/htf/htf.pdf.

[16] Lieutenant Eric J. Sipos and physical Scientist Castle Parker, "NOAA AHB Quality Assurance Inspections for Contract Hydrographic Surveys", NOAA Hydrographic Survey Division, USA

em conflito um com o outro. Um SIN típico é constituído por quatro subsistemas funcionais 17(fig. 1.3).

- **Entrada de dados**. O subsistema de entrada de dados permite que o utilizador capture, adquira e transforme dados espaciais e temáticos em formato digital. Os dados introduzidos derivam de uma combinação de cópias de mapas, fotografias aéreas, imagens remotas, relatórios diversos, relatórios dos levantamentos, etc.

- **Base de dados – Armazenamento e Recuperação**. O subsistema de Armazenamento e Recuperação de dados permite a organização da informação espacialmente e por atributos, de forma a facilitar uma busca rápida pelos utilizadores para posterior análise e uma atualização rápida e exata da base de dados.

- **Base de dados – Manipulação e Análise**. O subsistema de Manipulação e Análise de dados permite que o utilizador defina e execute procedimentos espaciais e de atributos de forma a gerar nova informação derivada da inicial. Este subsistema é, geralmente encarado como a base dos SIG e, normalmente, permite distingui-los de outros sistemas de informação e de Desenho Assistido por Computador (DAC).

- **Saída de dados.** O subsistema de saída de dados permite aos utilizadores gerar gráficos, normalmente cartas e relatórios em forma de tabelas que representam derivados dos produtos de informação.

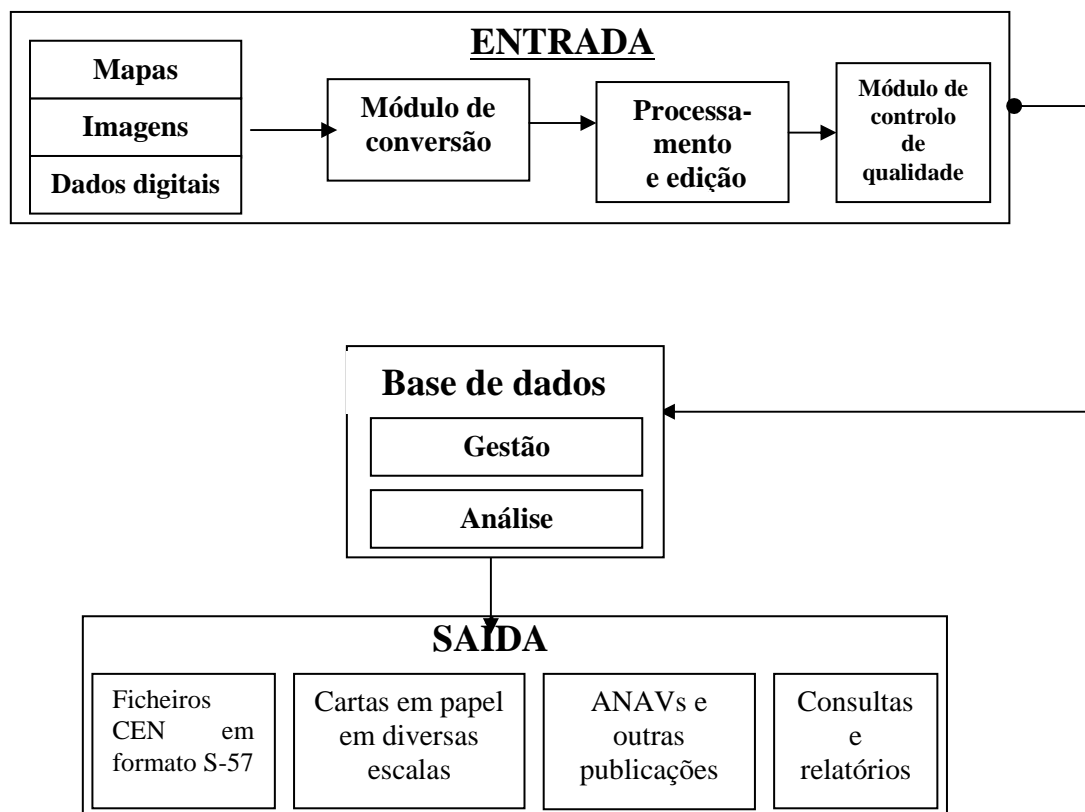



Figura 1.3 - "Subsistemas funcionais de um SIN"

[17] Dan Sherrill and Asa Carlsson, " The JANUS Solution for Hydrographic Information", T-Kartor AB Suécia – Box 5097 – S – 291 05 Kristianstad – Suécia, ds@t-kartor.se & ac@t-kartor.se .

O SIN é constituído por quatro componentes que são: dados, *hardware*, *software* e utilizadores18. De acordo com a figura 1.4, as diversas componentes deverão ser integradas de forma a trabalhar concertadas para apoiar a gestão e análise dos dados espaciais ou cartográficos.

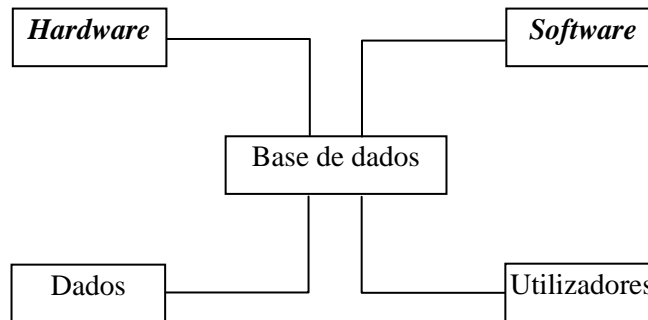



Figura 1.4 – Componentes do SIN”

- **Dados**. Todos os dados presentes numa base de dados ou são dados espaciais ou atributos. Os dados espaciais dizem onde algo aconteceu. Os atributos referem-se à natureza ou às características dos dados espaciais.

- ***Hardware***. Os computadores existentes deveram poder apoiar a entrada, saída, armazenamento, recuperação, visualização e análise dos dados.

- ***Software***. O *Software* usado deverá ser dinâmico e ter uma larga variedade de capacidades funcionais.

- **Utilizadores**. O termo "utilizador" pode referir-se a qualquer indivíduo que irá utilizar o SIN para apoio a um projeto, para programar objetivos, ou para uma organização.

2.9.1. Processo de compilação

A compilação de dados envolve a estruturação de todos os dados espaciais e atributos presentes num SIN. A informação cartográfica com características comuns como a projeção, escala e sistema de coordenadas deverá ser agregada na mesma diretorias de modo a estabelecer uma base de dados SIN centralizada. A compatibilidade dos dados deverá também ser examinada em termos de conteúdo e tempo de aquisição. Por fim, a informação será armazenada no SIN de acordo com formatos específicos definidos, quer pelo utilizador, quer pelo ambiente *software*/hardware escolhido para o SIN.

Um mapa base está criado quando o utilizador estabelece todos os requisitos referentes aos dados comuns, e é definido como um conjunto de requisitos padrão para os dados. Um mapa base providencia padrões de exatidão para controlo geográfico, e define também um modelo ou *template* que é usado para estruturar de forma compatível todos os dados. Um mapa base não é necessariamente uma carta, é um conjunto de padrões estabelecidos e ordenados de forma a assegurar o controlo da qualidade dos dados espaciais e de atributos contidos num SIN.

Uma vez reunidos os dados e escolhidos os parâmetros do mapa base, o utilizador tem de converter os dados para um formato compatível com os computadores. Este processo chamado "conversão" ou "digitalização", converte mapas de papel em dígitos numéricos que podem ser armazenados no computador. A digitalização pode ser efetuada de diversas formas. Passar pelo

---

[18] Lloyd P. Queen and Charles R. Blinn, " The Basic of geographic Information Systems”, lqueen@mercurry.forestry.umn.edu and cblinnlqueen@mercurry.forestry.umn.edu

scanner é uma delas. Outra técnica é utilizar uma “mesa digitalizadora”. A digitalização representa os dados do mapa num conjunto de pontos, linhas ou células que podem ser armazenados no SIN. A forma como cada conjunto de pontos, linhas e células são armazenadas como ficheiros digitais é condicionada pelo tipo de *software* utilizado no SIN.

A figura seguinte representa os diversos tipos de processos de compilação.

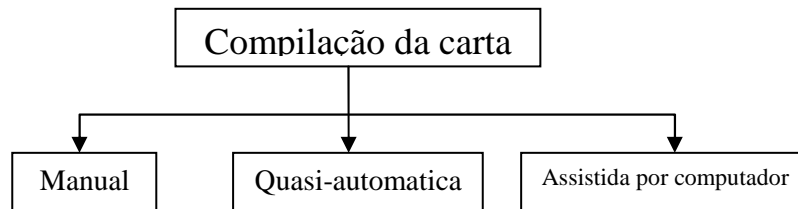



Figura 1.5 - “Diagrama do processo de compilação de uma carta”

2.9.1.1. Manual:

A cartografia tradicional baseia-se na separação de cores e em processos manuais. A matriz final obtém-se através de processos manuais de tratamento de linhas, símbolos e topologia (nomes) conforme as especificações cartográficas. A elevada qualidade do trabalho ao nível das linhas de desenho é alcançada por um processo chamado "scribing" onde a imagem é gravada numa película emulsionada assegurando desta forma que todas as especificações cartográficas são cuidadosamente mantidas. Para cada cor utilizada na carta é construída uma matriz em película indeformável, sendo para tal combinadas com os nomes e símbolos, por processos fotomecânicos, dando origem à matriz final de uma mesma cor, de modo a obter a separação de cores para impressão. A cartografia tradicional, definida como o conjunto de técnicas manuais usadas para a produção da carta em papel (antes do aparecimento do computador), pode ser divida em seis componentes19:

- **Trabalho de compilação**. Consiste na seleção da informação requerida para a produção da nova edição da carta de papel.

- **Geração da imagem**. O processo de selecionar o tipo de símbolo, forma, estrutura e características dos objetos numa carta.

- **Registo de imagem**. A técnica que assegura que as matrizes de cada cor se ajustam umas às outras na carta.

- **Cópia de contacto à escala**. Processo usado na produção de positivos e negativos, à mesma escala, por processos fotográficos de contacto direto.

- **Separação/combinação de imagem**. técnica utilizada na produção de cartas de múltiplas cores, com recurso à impressão sequencial de cada cor.

- **Impressão**. As cartas são impressas utilizando processos litográficos “*offset*”.

Semi-automático: A cartografia semi-automática é a combinação de processos manuais com processos assistidos por computador para a produção da carta náutica em papel. Apesar de conter os passos envolvidos na cartografia tradicional, alguns deles são efetuados de forma automática,

[19] Lt Cdr Luis Pais, "Production and Distribution of ENC – The Portuguese Experience”, Portugal (IHPT), hidrografia@hidrografico.pt, www.thsoa.org/pdf/h 01/7_3 .pdf.

como por exemplo os contornos, que são feitos com recurso a máquinas de desenho em vez de serem desenhados à mão.

2.9.1.2. Cartografia assistida por computador:

A cartografia assistida por computador é utilizada de forma a melhorar os serviços e para satisfazer as crescentes exigências para a produção cartográfica. A introdução da cartografia assistida por computador e da informação geográfica abriu novos horizontes às técnicas cartográficas e ao uso de dados espaciais. A cartografia assistida por computador é geralmente dividida em cinco passos20:

- **Aquisição e introdução**. Normalmente os dados digitais são obtidos de diversas fontes como por exemplo ficheiros digitais ou digitalização de cartas antigas.

- **Verificação**. Todos os dados obtidos são controlados por várias pessoas, devendo ser verificados os formatos, as escalas, as características, etc.

- **Edição e atribuição**. As principais tarefas são assegurar que as características estão topologicamente corretas e que os atributos e a simbologia estão de acordo com os Padrões Cartográficos Digitais (PCD). Os documentos originais que foram digitalizados requerem georreferenciação e uma edição interativa, bem como a codificação das suas características. Todas as anotações e texto presentes na carta são introduzidos interativamente.

- **Controlo de qualidade**. Um processo de filtragem é usado para criar um relatório que verifica se se encontra completo e se a atribuição das características se encontra correta. Os técnicos que efetuam o controlo de qualidade asseguram que a carta obedece às especificações de desenho e que os dados digitais se encontram conformes com os PCD. Todas as cartas são revistas pelos cartógrafos antes da sua publicação.

- **Impressão**. Um ficheiro final é criado para impressão. As impressoras modernas podem ser de cor única ou imprimir cores múltiplas em sequência.

2.9.2. Apresentação

O mundo real é bastante complexo para que seja prático efetuar uma descrição completa, por isso recorre-se a uma visão simplificada e altamente especializada. Isto é alcançado através da modelação da realidade. A apresentação da informação hidrográfica pode variar consoante a utilização pretendida (por exemplo, pode ser apresentada graficamente, usando símbolos ou em forma de texto). Por isso, a apresentação da informação deve ser independente do seu armazenamento. O conceito de manter a informação armazenada independente da apresentação providencia maior versatilidade e flexibilidade. Permite usar os mesmos dados para diferentes propósitos sem requerer quaisquer mudanças na sua estrutura ou conteúdo. Para mudar o estilo de apresentação será somente necessário mudar o modelo da apresentação. Então, o modelo descrito pode ser ligado a diferentes modelos de apresentação. Por exemplo, as CEN e as cartas de papel apresentam os mesmos dados básicos de modos diferentes por diferentes modelos 21 de apresentação.

[20] Vic Dohar and Dave Everett, “Geological Map Production for Dummies”, Natural Resources Ottawa, Canadá, vdohar@nrcan.gc.ca, http://pubs.usgs.gov/of/of00-325/dohar.html

[21] Organização Hidrográfica Internacional, Mónaco, Specifications for Chart Content and Display Aspects of ECDIS (S-52)

2.9.2.1. Carta Náutica de papel.

A Carta Náutica é uma representação gráfica da natureza e forma da costa, das profundidades, da caracterização geral e configuração do fundo de mar, da localização dos perigos para navegação, do ciclo das marés, da localização das ajudas à navegação implementadas pelo homem e da caracterização do magnetismo terrestre22. Além dos seus elementos básicos, uma carta é um documento de trabalho usado pelo navegador como um "mapa da estrada" e constitui uma folha de trabalho essencial para a segurança da navegação. Em conjunto com as ajudas suplementares à navegação, é usado para traçar rumos e efetuar a navegação através das rotas mais seguras, curtas e económicas.

As cartas impressas apresentam toda a informação importante como a simbologia adequada, textos com informação cartográfica descritiva e símbolos. O volume de informação está limitado, devido ao tamanho da carta e aos aspectos de legibilidade. Um dos aspectos mais importantes do trabalho de preparação é a generalização cartográfica e a edição cartográfica dos dados. Esta inclui, por exemplo o deslocamento, a agregação, a seleção, a rotação, a largura, a fonte e a colocação do texto.

2.9.2.2. Cartas digitais.

As cartas digitais significam uma base de dados padronizada, quanto ao conteúdo, estrutura e formato tal como representado na figura 1.6.

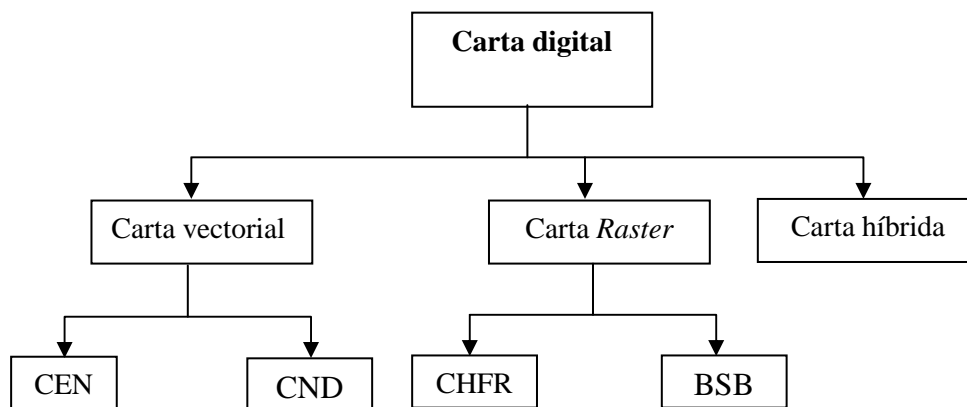



Figura 1.6 - "Tipos e formatos das cartas digitais"

As cartas digitais23 são uma nova ferramenta que pode providenciar benefícios significativos à navegação marítima, segurança da navegação e comércio. Mais que uma simples representação gráfica computorizada, as cartas digitais são uma combinação de dados geográficos e textuais, o que a torna numa ferramenta operacional de extrema utilidade. Como uma ajuda à decisão automatizada capaz de determinar continuamente a posição de um navio em relação a terra, aos objetos cartografados, às ajudas à navegação e aos perigos não avistados, as CEN são um sistema de navegação em tempo real que integra uma variedade de informação que é apresentada e interpretada pelo navegador. A forma mais avançada das cartas digitais representa uma abordagem completamente nova para a navegação marítima.

---

[22] http://chartmaker.ncd.noaa.gov/ncd/whatis.html

[23] Lee Alexander, Ph.D., "What is an ENC? It depends who you ask", Offshore Systems Ltd., Vancouver, BC, Canada, http://www.osl.com/Support/what_is_enc.htm.

2.9.2.3. Cartas Vetoriais

CEN: Uma Carta Electrónica de Navegação (CEN) é um conjunto de dados vetoriais que se encontram em conformidade com as especificações estabelecidas pela OHI na publicação S-57, em termos de conteúdos, estrutura e formato. Produzida pelos serviços hidrográficos oficiais para o uso no ECDIS, a CEN contém toda a informação necessária para a segurança da navegação e pode conter informação adicional à que é representada na carta de papel tradicional (por exemplo, rotas recomendadas). Em geral, uma CEN em formato S-57 é um produto orientado por objetos, com os dados estruturados por camadas e desenhado para uma vasta gama de aplicações hidrográficas. Como definido pela S-57 da OHI, 3ª Edição, os dados são um conjunto de pontos, linhas, características e objetos. O tamanho mínimo dos dados é uma "célula", que é um retângulo esférico (i.e. limitado pelos meridianos e paralelos). As células adjacentes não se sobrepõem. A escala dos dados contida numa célula é dependente do tipo de navegação (por exemplo: costeira, de aproximação, portuária). Para além do limite de 5Mb para a quantidade de informação digital contida numa célula CEN de dados, não existem mais nenhumas especificações quanto à dimensão das células.

CND: A Carta Náutica Digital é uma base de dados em formato vetorial, de características marítimas selecionadas que pode ser usada com sistemas integrados de navegação (por exemplo, sistemas de cartas electrónicas), ou outros tipos de sistemas de informação geográfica (SIG). Em semelhança às CEN, a base de dados das CND é constituída por pontos, linhas e polígonos que contêm informação relativa à hidrografia, ajudas à navegação, marcas culturais em terra, características em terra, profundidades, obstruções, etc. Cada tema (por exemplo hidrografia) é armazenado como uma camada temática com propriedades de georreferenciação. O produto da CND é codificado e condensado usando o anexo C "*Vector Relational Form* (VRF)" da *Digest* (*Digital Geographic Information Exchange Standards*), que consiste num conjunto de tabelas de dados relacionais. Em seguida, os dados são organizados numa série de "bibliotecas" que se encontram agrupadas pela cobertura das cartas, as quais são comensuráveis com os agrupamentos da *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) definidos para as escalas das cartas náuticas em papel (por exemplo: costeira, de aproximação e portuária). No conceito do ECDIS uma CND é um "sistema" da carta electrónica de navegação (SENC – *System Electronic Navigational Chart*) que contém informação e características específicas de visualização.

2.9.2.4. Cartas *Raster*

Os formatos *raster* são *bitmaps* aos quais foi aplicado um processo de georreferenciação. Um *bitmap* é um termo genérico para uma imagem computorizada baseada numa grade retangular constituída por pequenos quadrados ou pixéis coloridos (o normal são 254 pixéis por polegada). Normalmente, estes *bitmaps* são criados a partir da digitalização da carta (em papel) original, criando uma imagem digital. Após a digitalização da imagem é aplicada uma georreferenciação, que consiste em relacionar as posições dos pixéis da grade do bitmap à latitude e longitude correspondente. Desta forma, o computador consegue relacionar a posição de cada pixel com latitude e longitude. Porém, o sistema não tem nenhum conhecimento dos detalhes e das características (como a linha de costa) na imagem *raster* exibida. As cartas *raster* são produzidas pela digitalização de alta resolução das matrizes originais de cor utilizadas na impressão das cartas de papel. Os ficheiros digitais estão cuidadosamente georreferenciados de forma a possibilitar que o *software* de navegação consiga indicar, na imagem digital, as posições geográficas corretas. Os metadados são adicionados de forma a descrever a carta, o *Datum*, a projeção e outra informação adicional sobre a carta e sobre o ficheiro digital.

Carta Hidrográfica em Formato *Raster* (CHFR): Este é o formato desenvolvido pelo UKHO (*United Kingdom Hydrographic Office*) e é usado no seu serviço "*Admiralty Raster Chart Service* (ARCS)" e pelo *Australian Hydrographic Office* no serviço "*Seafarer Chart Service*". As cartas *raster* têm os mesmos padrões de exatidão e confiança que as cartas de papel. Estas são usadas com Sistemas de Cartas Electrónicas (SCE) autorizados e compatíveis.

Formato BSB: O formato (BSB) é, basicamente, uma ou mais imagens *raster* comprimidas de forma eficiente num pacote onde se incluem os detalhes da carta. Estes detalhes incluem a georreferenciação requerida para determinação da latitude e longitude assim como outros detalhes particulares tais como, a escala, as unidades de profundidade, o nome da carta, etc. O formato BSB separa a carta em imagens que dependem do número de compartimentos contidos na carta, onde um "compartimento" está definido como sendo a carta principal, um ou mais planos e a carta de continuação.

2.9.2.5. Cartas Híbridas

Idealmente, as versões originais de todos os produtos cartográficos digitais devem ser armazenadas no formato vetorial. O desenvolvimento crescente das capacidades dos sistemas computorizados nos últimos anos possibilitou a rápida transferência para os métodos digitais, por digitalização das cartas existentes, usando técnicas híbridas de rasterização/vectorização durante um período de transição. As versões originais *raster* (*raster master*) são substituídas por originais vetoriais (*master vector*) numa sequência determinada pelos custos e prioridades de mercado.

ACRÓNIMOS

ANAV	Aviso aos Navegantes
CD	*Compact Disk*
CEN	Carta Electrónica de Navegação
CND	Carta Náutica Digital
CNR	Carta Náutica *Raster*
CQ	Controlo de Qualidade
CHFR	Carta Hidrográfica em Formato *Raster*
DAC	Desenho Assistido por Computador
DNC	*Digital Nautical Chart*
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
FHCR	Formato Hidrográfico das Cartas *Raster*
FTH	Formato de Transferência Hidrográfico
IT	Instruções Técnicas
LH	Levantamentos Hidrográficos
NGA	*National Geospatial-Intelligence Agency*
NIMA	*National Imagery and Mapping Agency*
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
OMI	Organização Marítima Internacional
PCD	Padrões Cartográficos Digitais
SCE	Sistemas de Cartas Eletrónicas
SCEN	Sistema de Carta Eletrónica Navegação
SCRA	Serviço de Cartas *Raster* do Almirantado
SH	Serviços Hidrográficos
SHA	Serviço Hidrográfico Australiano
SHN	Serviço Hidrográfico Nacional
SHRU	Serviço Hidrográfico do Reino Unido

SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SIN	Sistema de Informação Náutico
VRF	*Vector Relational Form*
WGS	*World Geodetic System*

REFERÊNCIAS

D. Russom & H. R..W. Halliwell "Some basic Principles in the Compilation of Nautical Charts", International Hydrographic Review, Vol. LV Nº 2, Julho 1978

William G. Swisher, "NAtional Ocean Survey Automated Information System", International Hydrographic Review, Vol. LVIII Nº 2, Julho 1981

N. M. Anderson "Computer Assisted Cartography in the Canadian Hydrographic Service", International Hydrographic Review, Vol. LVIII Nº 2, Julho 1981

Christer Palm "From Manuscript to Printed Chart", International Hydrographic Review, Vol. LX Nº 2, Julho 1982

Martin Joseph "Assessing the Precision of Depth Data", International Hydrographic Review, Vol. LXVIII Nº 2, Julho 1991

E. C. Bouwmeester and A. W. Heemink, "Optimal Line Spacing in Hydrographic Survey", ", International Hydrographic Review ", Vol. LXX Nº 1, Março 1993

H. Gorziglia "Computer Assisted Cartography at Hydrographic and Oceanographic service of Chilean Navy", International Hydrographic Review, Vol. LXX Nº, Setembro 1993

Adam J. Kerr, "Conceptual Modelo f a Regionally Integrated Data Base for ECDIS", International Hydrographic Review, Vol. LXXI Nº 2, Setembro 1994

Udo Laube, "The Hydrographi and Wrecksearch Vessel "DENEB" as an Example for Modern Survey Vessel", International Hydrographic Review, Vol. LXXII Nº 2, Março 1995

B. Bourgeois, F. Petry, M. Harris & P. Alleman, "A GIS Integration Approach for Dynamically Reconfigurable Surveys", International Hydrographic Journal, Janeiro 1999.

Patrick McGlamery "Issues of Authenticity of Spatial Data", 66th IFLA Council and General Conference 2000.

Neal G. Millet and Simon Evans "Hydrographic Management using GIS Technologies", U. S. Hydrographic Conference 2001.

Lieutenant Eric J. Sipos,"NOAA AHB Assurance Inspections for Contract Hydrographic Surveys", U. S. Hydrographic Conference 2001.

Lt Cdr Luis Pais " Production and Distribution of ENC – The Portuguese experience", U. S. Hydrographic Conference 2001.

ENDEREÇOS DE URL

1. Ames Remote	http://www.amesremote.com
2. Caris Marine	http://www.caris.com
3. Coastal Oceanographic, Inc.	http://www.coastalo.comNational
4. *Software* ESRI	http://www.esri.com/library/
5. Federal Geographic Data Committee	http://fgdc.er.usgs.gov/fgdc.html
6. Hydrographic Society of America	http://www.thsoa.org
7. Imagery and Mapping Agency (NIMA)	http://www.nima.mil
8. Organização Hidrográfica Internacional	http://www.iho.shom.fr/iho.html
9. Tecnologias JANUS	http://www.janus-tech.com
10. NOAA National Coast Survey	http://chartmaker.ncd.noaa.gov
11.Offshore Systems Ltd.	http://www.osl.com/corporate
12. Organização Primar	http://www.primar.org
12. SeaBeam Instruments	http://www.seabeam.com/
13. Reson, Inc	http://www.reson.com
14. O Laser-scan Ltd.,	http://www.Laser-Scan.com/papers
15. O GIS Primer	http://www.innovativesgis.com

BIBLIOGRAFIA

Admiralty, "Manual of Hydrography", Vol. I & Vol. II.

Bowditch, "American Pratical Navigator", U. S. Navy Hydrographic Office.

Admiralty, "General Instructions for Hydrographic Surveyors".

Karl B. Jeffers, "Hydrographic Manual", U. S. Department of Commerce

IHO Special Publication S – 44 "IHO Standards for Hydrographic Surveys"

IHO Special Publication S – 52 "Specifications for Chart Content and Display Aspects of ECDIS"

IHO Special Publication S – 57 "IHO Transfer Standards for Digital Hydrographic Data"

IHO Special Publication S – 61 "Product Specifications for Raster Navigational Charts (RNC)"

IHO Circular Letter 45/2001, "Guidelines for the Processing of High Volume Bathymetric Data", datada 5 de Outubro 2001

"Map Compilation Color Separation and revision", Headquarters Department of Army, Washington

Colonel Sir Charles Close & Colonel H. St. J. L. Winterbotham, "Text Book of Topographical and Geographical Surveying", Her Majesty`s Stationery Office

CAPÍTULO 2 – POSICIONAMENTO

1. INTRODUÇÃO

A determinação de posições com determinado grau de confiança, numa grade de referência, é o problema fundamental que um Sistema de Informação Geográfica (SIG) enfrenta e o principal objetivo da Geodesia.

A determinação da posição de pontos sobre a superfície terrestre requer o estabelecimento de coordenadas adequadas num determinado sistema geodésico de referência (*DATUM*).

Quando a ferramenta “coordenadas” é selecionada por um utilizador, o mínimo de informação a disponibilizar deve ser:

- Parâmetros que descrevem o sistema de referência na sua totalidade;
- Detalhe sobre as coordenadas do símbolo ou ponto cartográfico selecionado.

Assim, é possível definir, sem ambiguidade, as coordenadas de um ponto ou objeto relativamente ao mundo real.

2. PRÍNCIPIOS DE POSICIONAMENTO

2.1. A Terra

O cálculo da posição com exatidão repetível é o problema central da referenciação geográfica e a principal função da geodesia.

A posição geográfica de um ponto na superfície terrestre pode ser dada relativamente a uma superfície de referência definida matematicamente, a qual é usada em substituição da superfície da Terra (muito próxima de um elipsóide de revolução ou bi-axial).

As superfícies de referência devem ter duas características fundamentais:

- Serem matematicamente definíveis;
- Ajustarem-se num determinado local (no local desejado) à verdadeira superfície.

As superfícies de referência usadas localmente são muitas vezes:

- O elipsóide de revolução (ou bi-axial);
- A esfera local (o esferóide local);
- O plano horizontal (ou plano tangente);
- O geóide.

As primeiras três baseiam-se em definições puramente matemáticas e são usadas no posicionamento horizontal; a quarta superfície tem definição física e está relacionada com as

anteriores através do valor altura. Uma posição tridimensional é definida por duas coordenadas horizontais e uma componente vertical que é a altura acima da superfície de referência.

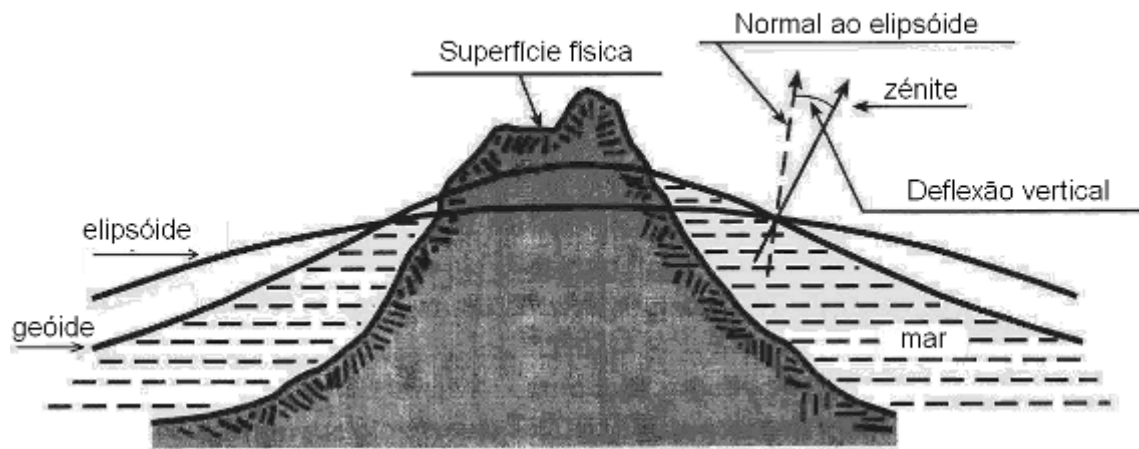



Figura 2.1 "A Terra"

2.1.1. O elipsóide

O elipsóide é uma superfície de quarta ordem onde todas as curvas resultantes da intersecção com um plano são elipses, que eventualmente degeneram em círculos. Qualquer que seja o ponto sobre a superfície do elipsóide e para a normal ao plano tangente nesse ponto, as elipses resultantes da intersecção entre a superfície e a normal, são conhecidas por secções normais e têm em cada ponto vários raios de curvatura. Esta variação é uma função contínua da latitude elipsoidal do ponto selecionado, dos parâmetros do elipsóide e do azimute da secção normal produzida. As duas secções normais que correspondem aos raios de curvatura máximo e mínimo são definidas como secções normais principais.

Para fins geodésicos, o elipsóide de revolução, produzido pela rotação de uma elipse em torno do seu semi-eixo menor, constitui uma superfície matemática bem definida cuja forma e dimensão são dados por dois parâmetros: por exemplo os comprimentos dos semi-eixos menor (**b**) e semi-eixo maior (**a**). A forma do elipsóide de referência pode também ser descrita pelo seu *achatamento*: $f = [(a-b)/a]$ ou pela sua *excentricidade*: $e = \left[(a^2 - b^2)^{\frac{1}{2}} / a \right]$.

A figura 2.1 mostra as relações entre geóide, elipsóide, e a superfície física da Terra e a figura 2.2 mostra a estrutura e parâmetros do elipsóide.

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

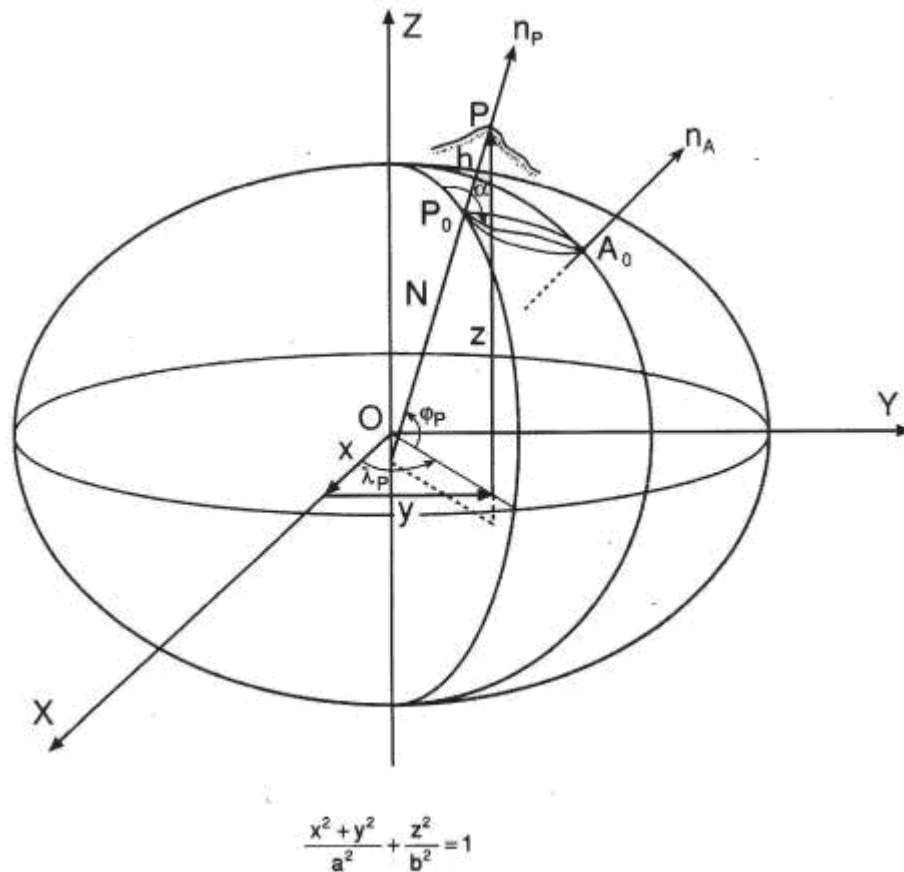



Figura 2.2 “O Elipsóide”

A superfície do elipsóide é regular e matematicamente definida; motivos pelos quais é a superfície de referência mais utilizada nos sistemas de coordenadas horizontais. No entanto, como superfície de referência altimétrica é pouco utilizado.

2.1.2. A esfera local

A esfera local é uma superfície de referência utilizada em substituição do elipsóide. Pode ter, para uma determinada latitude, o raio igual à média geométrica dos raios de curvatura das duas secções normais principais do elipsóide substituído.

A substituição é aceitável quando, num raio de aproximadamente 100 km (no campo geodésico) do ponto de tangencia entre o elipsóide e a esfera, ocorram diferenças em distância e ângulo inferiores à sensibilidade dos melhores equipamentos (distância: 1cm +/- 1ppm; ângulos: 0.1”).

Num raio de 8 km (no campo topográfico) a partir do mesmo ponto, é aceitável a substituição da esfera por um plano tangente, implicando, em comparação com a superfície do elipsóide, diferenças inferiores aos valores indicados anteriormente.

2.1.3. O geóide.

O geóide, definido como uma superfície equipotencial do campo gravítico terrestre é usado como superfície de referência altimétrica. O Nível Médio do Mar (NMM) constitui a melhor aproximação daquela superfície. O significado físico pode ser facilmente verificado pela ortogonalidade, em todos os pontos, à direção da linha do fio-de-prumo.

Ao contrário do elipsóide, o geóide não pode ser gerado matematicamente ou utilizado em cálculos pois a sua forma depende da distribuição irregular das massas no interior da Terra.

2.2. *Datum*

Um *Datum* é um Sistema Geodésico de Referência definido por uma superfície de referência posicionada e fixa no espaço. É gerado por uma rede compensada de pontos.

O SP-32 (IHO – 5ª Edição de 1994) define um *Datum* geodésico como "conjunto de parâmetros especificando a superfície de referência ou o sistema de coordenadas de referência usado para controlo geodésico na determinação de coordenadas de pontos da superfície terrestre; são vulgarmente definidos separadamente como horizontal e vertical".

A determinação de uma superfície única para toda a Terra, essencial na utilização dos sistemas de satélite e das técnicas de posicionamento e levantamentos associadas, foi no passado de pouco interesse e difícil de consegui devido essencialmente ao caráter local dos levantamentos topográficos e geodésicos.

Por este motivo, existem muitos sistemas geodésicos locais, todos definidos com o único propósito de obter uma boa aproximação na área de interesse.

É vulgar encontrar, para cada país, duas superfícies de referência definidas de modo diferente pois existe uma diferença clara entre a determinação da posição horizontal (elipsóide local) e vertical (geóide local/nível médio do mar). A figura 2.3 tenta mostrar essa relação.

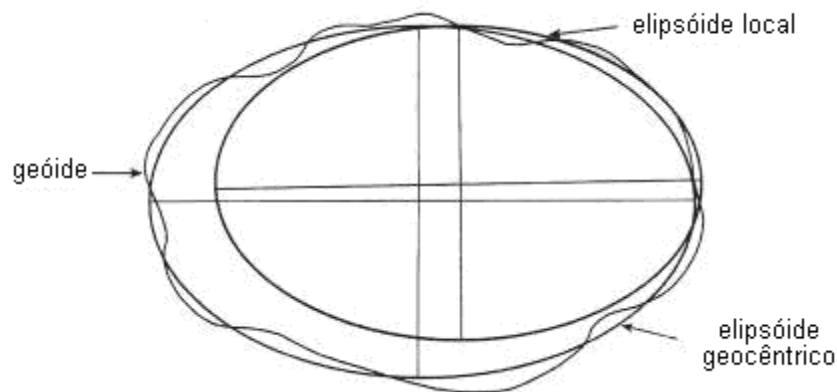



Figura 2.3 "Orientação do *Datum*"

2.2.1. *Datum* planimétrico

É um modelo matemático da Terra usado na determinação das coordenadas geográficas de pontos. Um elipsóide de referência bi-axial associado a um sistema local constitui um sistema geodésico de referência horizontal (bidimensional). É definido por um conjunto de 8 parâmetros: 2 para a forma do elipsóide e 6 para a sua posição e orientação. Um sistema de referência assim estabelecido não é geocêntrico, ou seja, o centro geométrico do elipsóide não coincide com o centro de massa da Terra (está desviado de uma quantidade na ordem de 100m); adicionalmente o eixo de simetria do elipsóide não está alinhado com o eixo de rotação terrestre médio, no entanto os desvios angulares são muito pequenos sendo da mesma ordem de grandeza da precisão da mais sofisticada capacidade de medição angular.

O elipsóide local deve ser posicionado e orientado em relação à Terra de modo a evitar translações das quantidades geométricas medidas (distâncias, ângulos, diferenças em altitude) para os cálculos da posição relativa de um ponto de coordenadas elipsoidais conhecidas, selecionado convencionalmente de acordo com os requisitos locais. Com os desenvolvimentos da tecnologia satélite, é agora possível obter diretamente coordenadas relativas a um sistema geocêntrico sem requerer modificações por parte do utilizador e que pode ser utilizado

mundialmente. No passado, quando o posicionamento geocêntrico não era possível, a única maneira de posicionar e diretamente referenciar sistemas era estabelecer um ponto inicial ponto de fixação (ou ponto de origem) e uma ligação com o sistema astronómico local (definido pela vertical do lugar e pelo eixo de rotação terrestre).

Existem dois parâmetros de forma que identificam um elipsóide, os outros seis (6 graus de liberdade para um corpo rígido no espaço) que devem ser determinados no ponto de fixação, são:

a) Latitude geodésica ou elipsoidal;

b) Longitude geodésica ou elipsoidal;

c) Elevação do geóide (ou altitude ortométrica);

d) As duas componentes do desvio da vertical;

e) Azimute elipsoidal para uma direção a partir do ponto de fixação.

Para ligar as duas superfícies fundamentais, o elipsóide e o geóide, continuamos a ter como condição que o ponto a selecionar como origem para uma altitude geodésica conhecida, tem que ter a latitude e longitude astronómicas determinadas. As coordenadas elipsoidais do ponto de origem são forçadas a coincidir com as astronómicas ou celestes.

Esta condição tem dois efeitos:

a) Liga o ponto de fixação do elipsóide a uma direção no espaço (eliminando dois graus de liberdade);

b) Assegura a coincidência entre a normal ao elipsóide e a vertical do lugar no ponto (eliminados mais dois graus de liberdade)

Considerando a altitude elipsoidal do ponto origem coincidente com a altitude ortométrica conhecida, e alinhando o eixo de rotação elipsoidal com a direção do Norte Astronómico, é possível fixar os dois graus de liberdade restantes do elipsóide relativamente ao geóide:

a) Deslizando ao longo da normal/vertical;

b) Rodando em torno dela.

Como resultado destas operações, temos o elipsóide de referência fixo no ponto origem. Ver a figura 2.4 onde mostra a representação gráfica da relação entre 2 elipsóides.

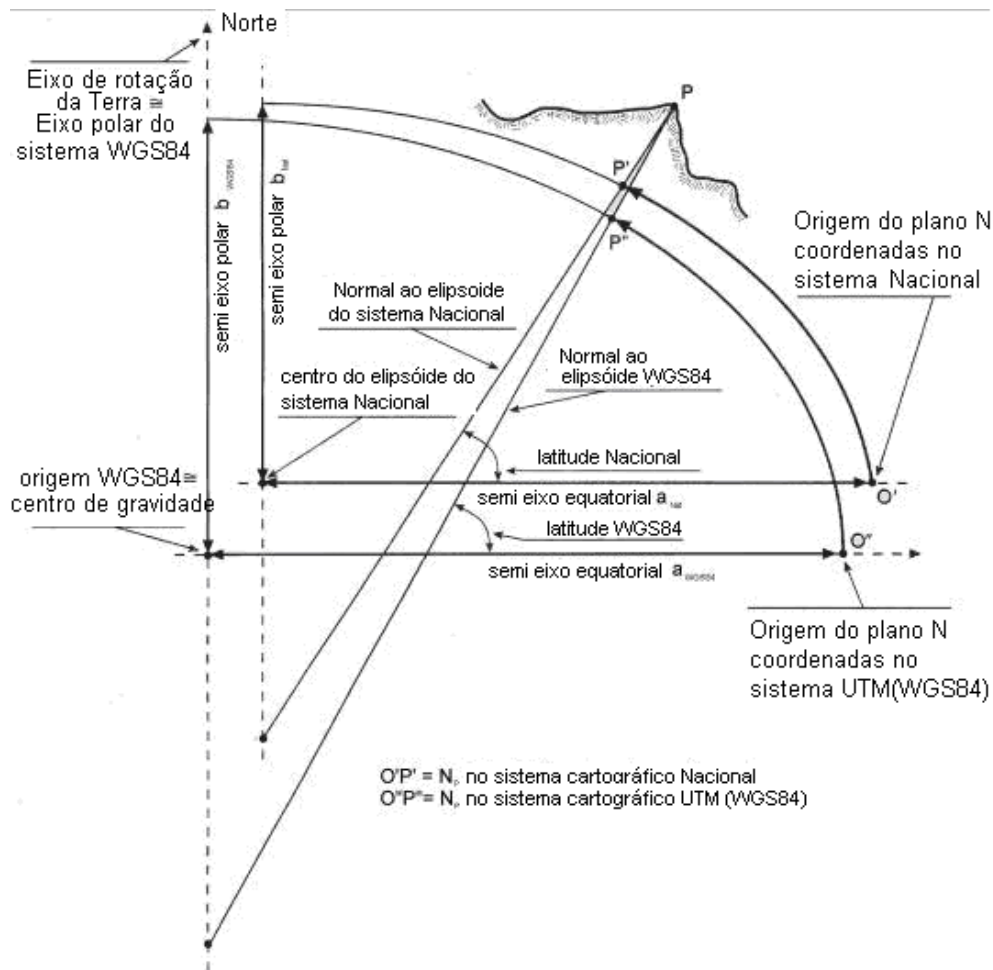



Figura 2.4 "Orientação horizontal do *Datum*"

2.2.2. Tipos de *Datum*.

Os sistemas geodésicos locais usados em geodesia e cartografia antes do advento dos sistemas de satélite eram baseados, como descrito, em elipsóides ajustados localmente à superfície do geóide.

Deste modo, em aplicações práticas, ajustamentos entre a vertical e a normal ao elipsóide são pequenos e quase ignoráveis, as medidas angulares no terreno podem ser associadas sem correções a figuras elipsoidais. Esta situação pode ser considerada válida em países mais pequenos com áreas limitadas; também pode ser aceitável, mas com pior aproximação, em zonas maiores como o continente Europeu ou os Estados Unidos.

A tentativa de estabelecer sistemas de referência mais abrangentes tem crescido nas últimas décadas acompanhando o processo geral de globalização.

Nos últimos 50 anos foi reconhecida a necessidade de encontrar um sistema de referência único para todo o globo em relação ao qual apresentar os produtos cartográficos, geodésicos e gravimétricos. O advento da geodesia por satélite tornou essencial a adoção de um único sistema de referência geocêntrico e avançou com a necessidade de criar a melhor aproximação média para todas as partes do globo.

Os primeiros sistemas com estas características foram desenvolvidos pelo Departamento da Defesa dos Estados Unidos: o WGS60, WGS66 e WGS72 foram modelos da superfície terrestre cada vez mais confiáveis que culminaram com a criação do WGS84.

WGS84 é o acrónimo para “*World Geodetic System* 1984” (Sistema Geodésico Mundial 1984) e define o sistema como geodésico e universal em 1984. É constituído por um sistema de eixos cartesiano OXYZ com origem no centro de massa convencional da Terra e o eixo dos ZZ dirigido para o Pólo Norte terrestre convencional (CTP Pólo Terrestre Convencional), como definido pelo BIH (*Bureau International de L”Heure*) em 1984, hoje designado por IERS (*International Earth Rotation System*). O eixo dos XX resulta da intersecção do plano meridiano origem que passa por Greenwich, definido pelo IERS em 1984, e o plano equatorial referente ao CTP. O eixo dos YY é estabelecido no plano equatorial 90º a este do eixo dos XX.

A origem das coordenadas e dos eixos coincidem com o centro de massa da Terra e os eixos do elipsóide são coincidentes com os do sistema (elipsóide bi-axial, WGS84 geocêntrico), o eixo dos ZZ é o eixo de simetria.

A EUREF, subcomissão da IAG (*International Assotiation of Geodesy*), que é responsável pela realização do *European Terrestrial Reference System* (ETRS), aprovou em 1989 o *European Terrestrial Reference Frame* (ETRF). O sistema ETRF89 é uma realização do WGS84.

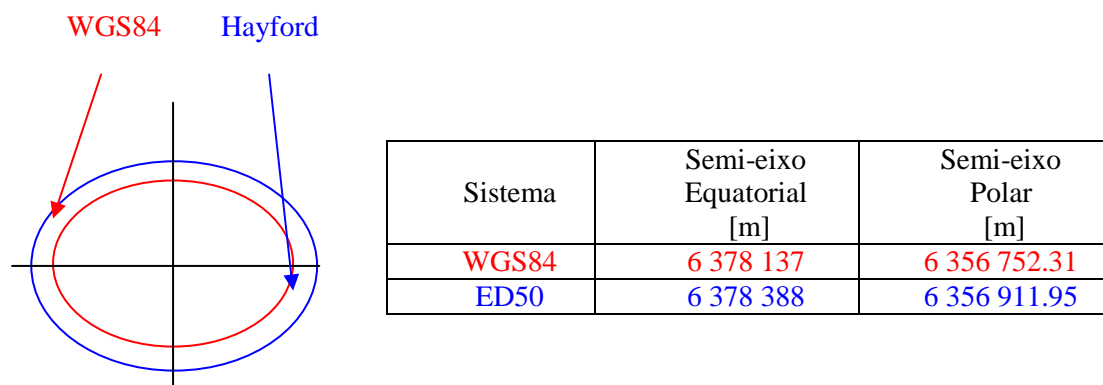
2.2.3. Transformação de *Datum*.

Com o desenvolvimento de um modelo único, tornou-se possível ter todas as cartas num só sistema de referência. No entanto, a transformação de cartas de um *Datum* para outro não é uma operação simples. Por este motivo, muitas das cartas ainda em circulação estão referidas a sistemas antigos.

Coordenadas cartesianas referidas a um sistema geocêntrico ou coordenadas geodésicas referidas a um elipsóide geocêntrico resultam de técnicas de posicionamento por satélite. Para transformar estas coordenadas para os sistemas locais relacionados com a área de interesse, é necessário aplicar algoritmos com parâmetros determinados por métodos probabilísticos no sentido de ajustar as medições por satélite à rede estabelecida por sistemas locais, com as inevitáveis deformações.

Todos os elipsóides posicionados localmente apresentam desvios em relação ao geo-centro adotado no sistema WGS84, devido não só à diferença de parâmetros entre os elipsóides mas também à diferente posição do centro e orientação dos eixos. Então, as coordenadas geodésicas de um ponto num *Datum* local são diferentes das coordenadas num *Datum* global, diferenças que traduzidas em distância podem ser da ordem das centenas de metros.

O seguinte diagrama mostra a diferença de dimensões entre o elipsóide de Hayford e o WGS84:

Sistema	Semi-eixo Equatorial [m]	Semi-eixo Polar [m]
WGS84	6 378 137	6 356 752.31
ED50	6 378 388	6 356 911.95

De notar que o elipsóide WGS84 é menor tanto na dimensão equatorial como na polar.

As variações em dimensão e origem refletem-se tanto na latitude e longitude geodésicas (ou elipsoidais) como também nas correspondentes coordenadas retangulares (Gauss) de um ponto da superfície terrestre.

Avaliar as coordenadas horizontais definidas pela adoção da representação de Gauss (UTM) em comparação com as coordenadas geográfica pode criar alguma confusão. De fato, desvios nas coordenadas Gauss não são o mesmo que os valores lineares dos desvios nas coordenadas elipsoidais. Isto porque o comprimento de um arco subentendido por um minuto de latitude ou de longitude depende da dimensão do elipsóide e porque muda o ponto origem. É pois fundamental fornecer aos utilizadores informação e formação de modo a compreenderem estes problemas.

Para transformar coordenadas geográficas e horizontais de um sistema para outro é necessário aplicar a todos os pontos a mesma variação em $\Delta\varphi,\Delta\lambda,\Delta N,\Delta E$, que são função do ponto; as diferenças a aplicar a todos os pontos variam com a posição.

A transformação entre dois *data* locais diferentes, na mesma área, é realizada muitas vezes por métodos empíricos, baseados no fato de que as duas superfícies de referência, mesmo julgando-se diferentes, são consideradas idênticas e a principal diferença é a orientação. No caso da transformação entre um sistema global geocêntrico, como o WGS84, e um sistema geodésico local, as duas superfícies estão separadas uma da outra sendo necessário aplicar algoritmos de transformação mais generalizados.

A transformação de *Datum* tem assumido uma importância considerável com o advento do GPS. Na prática é normalmente necessário que um levantamento com GPS inclua alguns pontos do antigo sistema geodésico em relação ao qual o levantamento está apoiado. É assim possível calcular parâmetros de transformação adequados e válidos para a área de interesse.

O método mais simples e comum consiste em assumir a existência de rotação e translação dos eixos com um fator de escala associado ao sistema de eixos cartesianos relativos aos elipsóides mencionados:

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + (1+K)\begin{bmatrix} 1 & E_Z & E_Y \\ E_Z & 1 & E_X \\ E_Y & E_X & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

Onde:

(X_1,Y_1,Z_1) Coordenadas cartesianas de um ponto no sistema 1 (S1);

(X_2,Y_2,Z_2) Coordenadas cartesianas de um ponto no sistema 2 (S2);

(X_0,Y_0,Z_0) Coordenadas da origem de S1 no S2;

(1+K) Fator de escala;

(E_X,E_Y,E_Z) Rotações em torno dos eixos de S1 (expressas em radianos e atuando no sentido contrário aos ponteiros do relógio)

Este tipo de modelo implica uma congruência geométrica perfeita, exceto para o fator de escala, entre todos os pontos da rede geodésica determinada com métodos GPS (por exemplo no S2) e os mesmos pontos de S1, determinados com técnicas tradicionais de triangulação e trilateração. Naturalmente que esta nem sempre é a situação real, na maioria das vezes devido a deformações introduzidas nas redes geodésicas clássicas pela propagação de erros que inevitavelmente

caracterizam os procedimentos tradicionais de medição. A relação (2.1) mantêm-se na maioria dos casos, quando aplicada a redes de extensão limitada.

Se juntamente com (2.1) for utilizado o seguinte formulário:

$$X = (N+h)\cos\varphi\cos\lambda$$
$$Y = (N+h)\cos\varphi\sin\lambda \qquad \text{com} \qquad N = \frac{a}{\sqrt{\cos^2\varphi + (1+\alpha)^2\sin\varphi}} \qquad \textbf{(2.2)}$$
$$Z = \left[(1-\alpha)^2 N + h\right]\sin\varphi$$

Expressões que relacionam as coordenadas geodésicas **φ**, **λ** e **h** relativas a um elipsóide de semi-eixo "**a**" e excentricidade **α** (e) com as coordenadas X, Y e Z relativas ao sistema cartesiano geocêntrico associado. A transformação entre os diferentes sistemas é efetuada em coordenadas geodésicas.

Os sete parâmetros necessários para aplicar (2.1) podem ser determinados num sistema local, como solução de um ajustamento por mínimos quadrados, onde as quantidades observadas são as coordenadas (cartesianas ou geodésicas) de um determinado número (≥ 3) de pontos da rede, obtidas por observação GPS em S2 e por métodos clássicos terrestres em S1.

2.2.4. *Datum* vertical

O primeiro elemento necessário à definição de altitude é uma superfície de referência.

Uma vez estabelecida, é especificada a direção ortogonal necessária à medição da elevação enquanto que a escala ao longo daquela direção deriva do estabelecimento do sistema.

O modo de selecionar estes elementos resulta na definição de diferentes sistemas altimétricos:

a) "h" altitude elipsoidal – adota um elipsóide bi-axial como superfície de referência;

b) "H" altitude ortométrica (altura acima da superfície do geóide) – adota como superfície de referência a superfície equipotencial do campo gravítico terrestre, aproximada ao NMM quando se ignoram as oscilações periódicas (geóide).

O segundo sistema permite a preservação do sentido físico da altitude ao NMM. No entanto, surgem complicações matemáticas para determinar as diferenças entre as duas superfícies (elipsóide – geóide), designadas por ondulações do geóide, cujo conhecimento é necessário para relacionar os dois sistemas altimétricos.

A figura seguinte mostra a relação entre a altitude elipsoidal **h** e a ortométrica **H**.

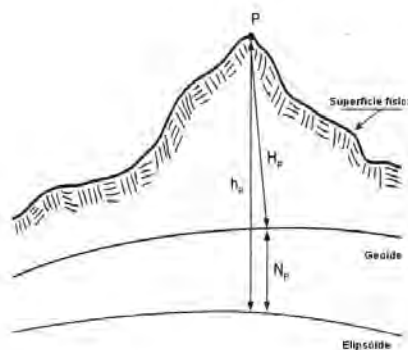



Figura 2.5 "*Datum* vertical"

Numa primeira aproximação, a poucos milímetros:

$$h_P = H_P + N_P \qquad \textbf{(2.3)}$$

$\mathbf{h_P}$ é mensurável com GPS enquanto $\mathbf{H_P}$ é observável a partir de operações de nivelamento corrigidas de observações gravimétricas; $\mathbf{N_P}$ (ondulação do geóide) é a elevação acima da superfície, do ponto **P** projetado no geóide ao longo da vertical do lugar (linha de prumo). Esta fórmula é aproximada pois não considera as diferenças de comprimento entre as normais nem os diferentes fatores de escala resultantes dos diferentes tipo de observação. Para fins cartográficos o erro resultante desta aproximação é desprezável.

Nos trabalhos cartográficos, a altimetria tradicional atribui convencionalmente ao NMM a elevação (ou nível) zero, uma vez que a superfície do mar é conhecida para a maioria dos lugares. É suficiente determinar o NMM por observações de maré durante um longo período de modo a filtrar os termos que menos a afetam.

O SP-32 (OHI – 5ª edição de 1994) define NMM como “a altitude média da superfície do mar para todos os estados da maré durante um período de 19 anos, determinada a partir de medições registadas hora a hora num determinado marégrafo a partir de um nível de referência fixo predefinido (CHART *DATUM*)”.

Para a uma área específica de interesse, o geóide local é definido como a superfície equipotencial do campo gravítico para um ponto pré-determinado dessa área (normalmente um ponto na linha de costa ou perto dela localizado em relação ao NMM convencional).

Partindo desse ponto, assumido como o nível zero de referência, e usando técnicas de nivelamento geométrico, é possível atribuir uma altitude referida ao geóide a cada ponto, designados por pontos de controlo e propagar a altimetria aos pontos da rede da área de interesse.

2.3. Sistemas de coordenadas

Uma posição é geralmente definida através de coordenadas curvilíneas como a latitude e longitude e a altitude acima de uma superfície de referência. Neste caso é disponibilizada uma posição em (2+1) dimensões.

É necessário distinguir os seguintes sistemas de coordenadas:

a) Planas retangulares (grade);

b) Esféricas;

c) Elipsoidais (geodésicas);

d) Astronómicas.

conforme a superfície de referência utilizada for o plano, a esfera, o elipsóide ou o geóide.

As coordenadas elipsoidais são também designadas por geodésicas enquanto as referidas ao geóide são as astronómicas.

De acordo com esta interpretação o termo “coordenadas geográficas” é um termo geral e engloba os tipos mencionados em c) e d).

2.4. Princípios de cartografia

A representação de um elipsóide numa superfície plana é o objetivo e o problema fundamental da cartografia.

Este problema torna-se complexo pois o elipsóide (ou uma superfície esférica) não é planificável. Assim, não é possível transportar detalhes duma superfície de referência tridimensional para o plano sem que os elementos geométricos (comprimentos, áreas, ângulos) que os descrevem sofram deformações. Encontrar o melhor método de transformação quer através de eliminação de algumas deformações quer através da manutenção de outras, dentro de limites aceitáveis, será aqui focado.

De acordo com o método selecionado existem:

a) Cartas onde as distâncias são preservadas (equidistantes): esta condição não pode ser conseguida para todo o papel, somente ao longo de direções particulares. Isto significa que ao longo de determinadas linhas a relação (escala) entre distâncias medidas no papel e as distâncias medidas na superfície de referência é preservada.

b) Cartas onde as áreas são preservadas (equivalentes ou equal-área): esta condição pode ser conseguida para todo o papel. Isto significa que a relação entre a área medida no papel e a área medida na superfície de referência é preservada. No entanto, são introduzidas deformações linear e angulares que geram (criam) (produzem) alterações de forma.

c) Cartas onde os ângulos são preservados (cartas conformes): isto também pode ser conseguido para todo o papel. Significa que o ângulo medido entre duas geodésicas transformadas para o papel é igual ao ângulo entre as duas direções correspondentes na superfície de referência (elipsóide ou esfera).

d) Cartas onde a escala, num ponto, é a mesma em todas as direções (cartas ortomórficas): os ângulos em torno desse ponto são preservados e as formas de figuras de pequenas dimensões não são alteradas em toda a representação.

e) Cartas onde nenhum dos elementos acima descritos é rigorosamente preservado mas onde as deformações estão dentro de uma determinada tolerância (cartas afiláticas ou não ortomórficas).

Três quantidades permitem a avaliação da deformação, e consequentemente o cálculo das correções correspondentes. São designadas por “expressões da deformação linear, areal e angular” e são dadas respectivamente por:

$$m_l = \frac{dl'}{dl}$$
$$m_s = \frac{dS'}{dS} \qquad \textbf{(2.4)}$$
$$m_\alpha = \alpha' - \alpha$$

Onde **dl”**, **dS”** e **α”** são os elementos geométricos pertencentes ao plano e **dl**, **dS** e **α** são os elementos geométricos correspondentes no elipsóide.

Os elementos linear e areal têm que ser infinitesimais de modo a que o tamanho das deformações seja rapidamente identificável.

A escolha de um sistema cartográfico depende do objetivo para o qual a carta está a ser produzida. Se uma carta é para ser usada em navegação, ela deve ser conforme. Os ângulos no papel (por exemplo os ângulos entre rotas marcadas no papel e os meridianos) reproduzirão, sem variações, a direção do ângulo vetor.

O procedimento, através do qual é estabelecida a relação entre pontos no elipsóide e no plano cartográfico, pode ser:

a) Geométrico: que consiste no estabelecimento de uma relação projetiva entre eles através de construções geométricas apropriadas seguidas de relações analíticas (em geral trigonometria);

b) Analítico: consiste no estabelecimento de uma ligação analítica não projetiva entre os pontos. É necessário escrever um sistema de equações que relacione as coordenadas geográficas dos pontos sobre o elipsóide às coordenadas planas no plano cartográfico referidas a um sistema de eixos apropriado.

O primeiro método da construção de cartas é designado por “projeção” e o segundo por “representação”. Estes dois métodos não são incompatíveis, cada sistema pode ser articulado através de um arranjo de equações e sistemas projetivos apropriados que podem corresponder a variados sistemas analíticos, mesmo se por vezes são aproximados.

Na cartografia moderna é preferível construir cartas através de “representações”.

Existem sistemas mistos, onde alguns elementos da rede de trabalho são transformados com um sistema e outros elementos com outro sistema. Sistemas deste tipo são designados por “projeções ou representações modificadas” e são usadas na construção de cartas com características particulares a atribuir ao produto final que não foi criado numa projeção ou representação pura.

2.5. Projeções

2.5.1. Projeções perspectivas (ou geométricas)

Para representar uma determinada secção dum elipsóide numa carta, é necessário estudar o centro da área e encontrar o plano tangente ao elipsóide num ponto. É então possível projetar figuras geométricas do elipsóide nesse plano a partir do centro de projeção.

Dependendo da posição selecionada para o ponto de projeção, são produzidas várias transformações, cada uma com características particulares.

O centro da projeção pode ser estabelecido:

a) No centro do elipsóide (projeção centrográfica ou projeção azimutal): as cartas usadas com este sistema são úteis para a navegação, porque a transformação dos arcos de curvatura máxima das esferas locais produz segmentos de linhas retas no plano de projeção;

b) Em relação ao ponto diametralmente oposto à zona a representar (projeção estereográfica): é a única projeção perspectiva que é conforme e é geralmente usada na cartografia das zonas polares;

c) Ao longo da extensão do diâmetro do elipsóide, mas exterior a ele (projeção “*scenographic*”);

d) Sobre o diâmetro mas a infinita distância (projeção ortográfica)

2.5.2. Projeções cónicas

Uma projeção cónica consiste em tomar uma superfície cónica posicionada em relação à parte do elipsóide a representar e projetá-la na superfície cónica a partir do centro do elipsóide. Seguidamente, a superfície cónica é planificada e a carta assim produzida é afilática (não ortomórfica) representando a linha de tangencia sem deformação (linha de deformação nula). O caso mais comum é apresentado pela "projeção cónica direta" que, de modo a ser tornada conforme, Lambert manteve os princípios da projeção inalterados no que diz respeito à representação dos meridianos mas substituiu o método de traçar os paralelos por um sistema analítico de representação. Esta é uma projeção ortomórfica modificada.

2.5.3. Projeções cilíndricas

As projeções cilíndricas são obtidas considerando uma superfície cilíndrica tangente ao elipsóide e projetando sobre ela os pontos do elipsóide a partir do seu centro.

Entre as numerosas possibilidades de posicionar o cilindro, vamos considerar as duas que constituem, após planificação, os dois sistemas cartográficos mais usados: a projeção cilíndrica regular ou equatorial e a inversa desta a transversa.

2.5.3.1. Projeção cilíndrica regular ou equatorial

O cilindro de projeção é tangente ao equador e tem um eixo coincidente com o eixo menor do elipsóide terrestre. A grade de meridianos e paralelos é transformada a partir do cilindro numa série de linhas retas ortogonais entre si. A projeção é afilática ou "não ortomórfica" numa banda equatorial. É conforme e as deformações são menores na proximidade do equador mas aumentam no sentido dos pólos.

A projeção cilíndrica regular pode ser tornada conforme e ortomórfica pela introdução de relações analíticas entre os paralelos e a sua representação na carta. A transformação original dos meridianos é mantida.

A carta modificada, assim obtida, designada por carta de Mercator (ou projeção de Mercator), tem a vantagem de ser conforme e de apresentar a grade geográfica transformada em linhas retas ortogonais. Em resumo, este parece ser o sistema cartográfico ideal para as áreas equatoriais. Para áreas nas médias latitudes, pode-se considerar a superfície cilíndrica a intersectar o elipsóide: é introduzida deformação no equador, não existirá deformação ao longo dos paralelos selecionados, mas haverá entre eles uma redução da deformação e uma expansão nas zonas exteriores.

Adicionalmente, a carta de Mercator permite a navegação com recurso à "loxodrómia ou linha de azimute constante". Apesar de não representar a menor distância entre dois pontos, que é uma geodésica ou ortodrómia, as loxodrómias são usadas para curtas distâncias porque o ângulo da rota pode ser facilmente obtido para o meio; por essa razão, estas cartas são normalmente usadas em navegação.

2.5.3.2. Projeção cilíndrica transversa

O cilindro de projeção é tangente a um meridiano com os eixos colocados no plano equatorial e a superfície do elipsóide é projetada a partir do seu centro. As deformações não existem ao longo do meridiano de tangencia mas aumentam com a distância a ele.

A grade de meridianos e paralelos (quadrícula) é transformada numa rede de curvas que se intersectam segundo o mesmo ângulo. Ao reduzir a zona a projetar limita-se o efeito da deformação, sendo conseguido através da divisão da superfície terrestre em zonas de largura limitada (geralmente 15° de longitude), e projetando sobre o cilindro tangente ao meridiano central respectivo, ao longo dos quais as deformações são evitadas. De modo a reduzir ainda mais as deformações, em vez de um cilindro tangente pode-se considerar um secante. Neste método a ausência de deformação não ocorre ao longo do meridiano central mas nas linhas de intersecção

que lhe são simétricas: nas áreas entre elas há redução da deformação e no exterior expansão crescente.

2.5.4. Representações

A representação de Gauss, que constitui a base cartográfica oficial de muitos países, transforma "analiticamente" a grade geográfica (fig. 2.6), através de equações complexas, numa rede muito semelhante à obtida através da projeção cilíndrica transversa, conferindo-lhe a característica fundamental da conformidade (adicionalmente tem em comum com as projeções: imagens retilíneas do equador e de um meridiano e equidistância ao longo de um meridiano).

A ausência de equidistância (exceto ao longo do meridiano selecionado) envolve variação de escala no papel, em relação à posição do elemento medido. A deformação aumenta com a distância ao meridiano central e ao equador. Para reduzir as deformações a superfície a representar é cuidadosamente delimitada. O elipsóide é dividido em zonas com um meridiano central (meridiano zona) escolhido como meridiano de referência ao longo do qual a equidistância é conseguida.

Através das equações ou fórmulas de Gauss é possível obter as coordenadas cartográficas, logo a representação dos pontos do elipsóide (i.é. os nós da grade geográfica) num plano de representação X-Y (ou N-E), lembrando que a transformada do meridiano é mostrada pelo eixo dos X e que o eixo dos Y é representado numa direção paralela ao eixo do cilindro de projeção.

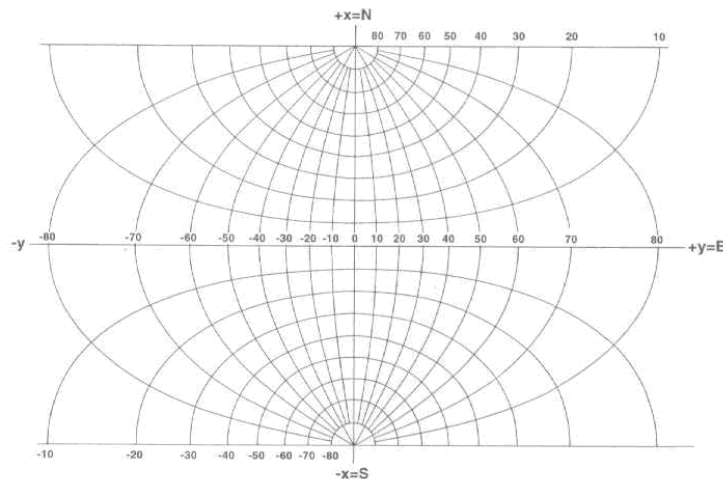



Figura 2.6 "Grade geográfica"

No papel, pontos com a mesma abcissa ou ordenada são linhas retas paralelas ao eixo. Desenhar no plano cartográfico algumas destas linhas (as correspondentes aos quilómetros de valor inteiro) gera uma rede de quadrados designada por grade.

Nas cartas modernas, só são representadas as grades, enquanto a grade geográfica (quadrícula) é referenciada na margem das folhas por traços indicativos dos paralelos e meridianos.

A existência da grade permite efetuar cálculos em toda a zona, sendo necessário apenas corrigir, com recurso ao coeficiente de deformação linear, as distâncias calculadas através de coordenadas. Como a transformada da geodésica não é um segmento de reta é necessário introduzir correções aos ângulos (através da "*chord redution*") (tangente-corda).

O sistema cartográfico baseado na representação de Gauss é conhecido internacionalmente como sistema “Universal Transversa de Mercator” ou UTM por analogia com a projeção cilíndrica transversa obtida a partir da projeção cilíndrica regular (Mercator).

2.5.5. Sistema Universal Transversa de Mercator

As coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) são usadas nos levantamentos e em cartografia quando a área de intervenção tem extensão considerável. São também utilizadas pelos Exército, Força Aérea e Marinha da NATO em aplicações cartográficas e geodésicas.

A diferença entre o sistema UTM e a projeção TM está no valor da escala (fator de escala) ao longo do meridiano central, na origem e nas unidades de representação:

- Para a projeção o sistema UTM a escala o fator de escala é de 0,9996 ao longo do meridiano central;
- A coordenada Norte (NUTM) tem a sua origem sobre o equador e por limite, no Hemisfério Norte, o paralelo dos 84°N;
- A coordenada Sul (SUTM), no Hemisfério Sul, tem na origem o valor de 10 milhões de metros (10 000 000m) decrescendo até ao paralelo dos 80°S;
- A coordenada Este (EUTM), sobre o meridiano central, tem na origem o valor de 500 mil metros (500 000m);
- O sistema UTM está dividido em 60 zonas de longitude designadas por fusos. Cada zona fuso tem 6° de amplitude, 3 para cada lado do meridiano central.

Para determinar as coordenadas UTM de um ponto, devem ser determinadas as TM:

- As coordenadas UTM Norte ou Sul (NUTM, SUTM) são determinadas multiplicando o fator de escala 0.9996 do meridiano central pelo valor das coordenadas TM Norte ou Sul (NTM, STM);
- No Hemisfério Sul o valor da translação, 10 000 000m, deve ser adicionado;
- As UTM Este (EUTM) são obtidas pela multiplicação do fator de escala do meridiano central (0.9996) pelas TM Este (ETM), adicionadas de 500 000m;
- As coordenadas UTM são sempre expressas em metros.

Norte, Sul e Este UTM

Hemisfério Norte: $N_{UTM} = (0.9996)\ N_{TM}$

Hemisfério Sul: $S_{UTM} = (0.9996)\ S_{TM} + 10000000\ m$

Coordenada Leste: $E_{UTM} = (0.9996)\ E_{TM} + 500000\ m$

A zona UTM (Z = número da zona UTM) pode ser calculada a partir da longitude geodésica de um ponto (convertida para décimos de grau)

$Z = (180° + \lambda) / 6$ (longitude este)

$Z = (180° - \lambda) / 6$ (longitude oeste)

Se o valor calculado de **Z** for uma quantidade decimal, então o valor inteiro da zona deve ser incrementado de 1.

Exemplo do cálculo da zona UTM:

λ = 15° 12” 33.5609”“E

Z = 195.20932247/6 = 32.53448

Z = 32 + 1

Z = 33

No exemplo acima, **Z** é uma quantidade decimal, como tal, a zona é igual a trinta e dois (32) mais um (1).

3. MÉTODOS DE CONTROLO HORIZONTAL

3.1. Introdução

No âmbito hidrográfico, os levantamentos topográficos estabelecidos para georreferênciar um território costeiro ou para criar marcas em terra para apoio aos levantamentos hidrográficos, são levados a cabo começando por estabelecer previamente estações topográficas com coordenadas já determinadas por operações de levantamentos geodésicos.

Esses pontos e a rede de ligação, designada por controlo primário (rede de primeira ordem) produzem o sistema geodésico de referência adotado (*Datum*).

A sua determinação horizontal pode ser obtida por:

a) Métodos clássicos de levantamentos (observações astronómicas e medição de ângulos e distâncias);

b) Métodos mistos de levantamentos;

c) Métodos fotogramétricos

Os primeiros dois métodos concretizam a rede de controlo básica, de primeira ordem ou inferior, através de operações de triangulação, trilateração e poligonais (“*traverse*”). Depois, a partir dos pontos do da rede de primeira ordem a rede pode ser estendida consoante as necessidades particulares dos levantamentos, com recurso a mais medições de ângulos e distâncias.

O desenvolvimento da tecnologia satélite veio permitir, tanto a determinação de estações da rede de primeira ordem como a derivação de pontos da rede de segunda ordem sem ligação geométrica entre eles, até ao nível do levantamento topográfico, de um local em particular.

3.2. Método clássico

3.2.1. Triangulação

3.2.1.1. Princípios e especificações

Em todos os países, dentro das suas fronteiras, são conhecidos alguns pontos, designados por estações trigonométricas, perenizados e ligados entre si de modo a formar uma sequência de triângulos, possivelmente equiláteros.

A técnica de levantamento chamada triangulação permite, pela medição de ângulos, a determinação de pontos de uma rede triangular, onde todos os triângulos têm pelo menos um lado comum.

O desenvolvimento, formado por triângulos, pode ser feito por extensão das redes (fig.2.7a) ou numa primeira fase “feito em cadeia” (fig. 2.7b). Este último método tem sido aplicado aos levantamentos de áreas extensas em latitude ou longitude (i.e. Argentina).

Adicionalmente, as cadeias podem ser relacionadas com elas próprias, no caso de levantamentos ao longo de uma faixa estreita; neste caso é relevante o uso de um método mais rígido, como quadriláteros com diagonais (fig. 2.7c).

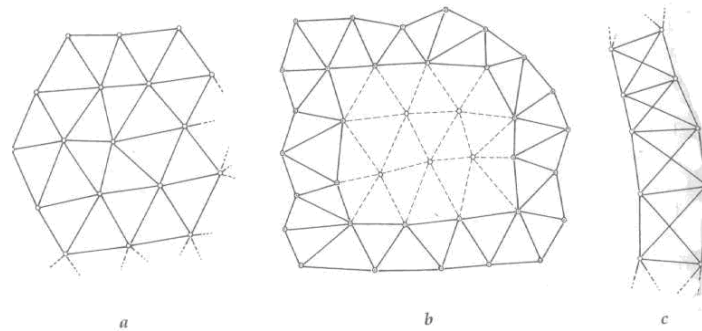



Figura 2.7

Numa rede, a escala pode ser determinada pela medição de uma linha de base, todas as outras medições podem ser angulares. No entanto, erros de escala são acumulados ao longo da rede sendo melhor controlados pela medição de outras linhas de base. (Antes do advento da medição electrónica de distância a medição de distância era uma tarefa longa e difícil).

Finalmente a orientação da rede tem que ser determinada pela medição do azimute de um dos lados, por métodos astronómicos. À semelhança da escala devem ser determinados outros azimutes ao longo da rede de forma a corrigir/controlar a propagação de erros.

3.2.1.2. Medições de base e ângulos

Para clarificar como uma triangulação é conduzida, o objetivo é determinar as coordenadas dos pontos A, B, C, D, E e F (fig. 2.8); os pontos estão ligados de modo a formar uma sequência de triângulos. Em geral, o lado AC (na triangulação, normalmente designado por base) e todos os ângulos dos vários triângulos são medidos: α_1, β_1, γ_1 do triângulo ABC; α_2, β_2, γ_2 do triângulo ABD e assim por diante.

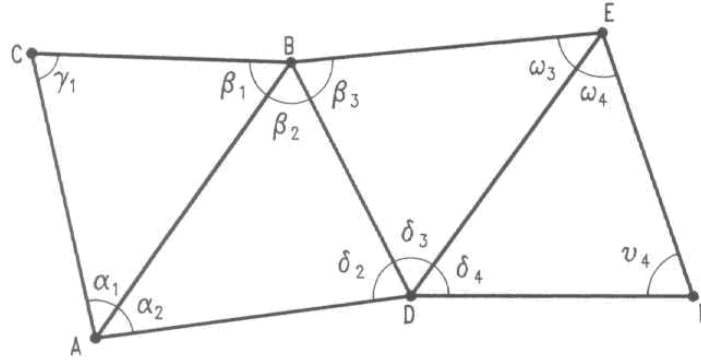



Figura 2.8

O comprimento da base da triangulação de primeira ordem é da ordem dos dez quilómetros, consequentemente, a medição dos ângulos requer um cuidado particular; é necessário o uso de teodolitos que permitam a leitura de um ou dois décimos de segundo sexagesimal com o propósito de obter, com reiterações adequadas, a medição das direções com um erro médio quadrático na ordem dos décimos de segundo.

Para obter medições com estas tolerâncias, deve ser dada particular atenção aos alvos, que devem ser conspícuos e de cor adequada. Podem ser usados alvos diurnos ou noturnos de luz brilhante; os diurnos produzidos por *heliostats* ou *heliotropes* e à noite por projetores. Ambos devem permitir remover erros de colimação necessitando para tal a presença de um operador no ponto a ser colimado.

Então, para cada triângulo onde foram medidos os três ângulos, é necessário verificar a precisão de cada medição, de forma a calcular o erro angular de fecho para cada triângulo, verificando se os resultados são inferiores à tolerância predefinida:

$$\varepsilon_\alpha = \left|\Sigma\alpha_i - 180°\right| \leq t_\alpha \qquad \textbf{(2.5)}$$

Onde o somatório $\boldsymbol{\Sigma\alpha_i}$ é a soma das medições angulares a menos do excesso esférico. Podem ajustar-se os ângulos medidos através de um método rigoroso ou de um método empírico, adicionando ou subtraindo um terço do erro angular de fecho.

3.2.1.3. Cálculo e compensação

Logo que a verificação da tolerância esteja garantida, o primeiro triângulo ABC (fig. 2.8) pode ser resolvido, conhecendo uma base e os três ângulos calculam-se os outros lados geralmente através da aplicação da lei dos senos:

$$\overline{AB} = \overline{AC}.\frac{\sin\gamma_1}{\sin\beta_1} \qquad \textbf{(2.6)}$$

$$\overline{BC} = \overline{AC}.\frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_1} \qquad \textbf{(2.7)}$$

Tendo a sua base determinada, é agora possível resolver o segundo triângulo ABD através da aplicação da lei dos senos, e assim sucessivamente.

Caso exista mais do que uma base medida é necessário utilizar métodos rigorosos para compensação/ajustamento. O método de uso mais frequente é o das observações indiretas:

Observações super abundantes da rede permitem fazer o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados.

Considerando por exemplo o triângulo ABD (fig. 2.9), os valores desconhecidos são obtidos através dos valores mais prováveis das coordenadas horizontais dos pontos A, B, D (listados como X_A, X_B, X_D, Y_A, Y_B, Y_D). Essas coordenadas são expressas por um valor inicial aproximado e pelas correções relativas a aplicar de modo a produzir, através do princípio dos mínimos quadrados, o valor final mais provável.

Uma vez as medições angulares compensadas ficam a faltar as seguintes operações:

a) Formulação de uma equação para cada observação. Em particular, impomos a condição de que o ângulo (i.e. α_2) tem que ser igual à diferença entre os ângulos da direção medida na base AD e na base AB:

$$\alpha_2 = (AD) - (AB) \qquad \textbf{(2.8)}$$

Donde:

$$\alpha_2 - (AD) + (AB) = 0 \qquad \textbf{(2.9)}$$

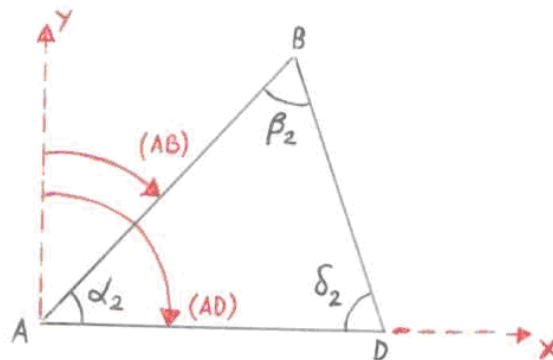



Figura 2.9

O sistema de equações assim gerado é um sistema impossível pois o número de equações (uma por cada observação) é maior do que o número de incógnitas.

As incógnitas estão contidas nas expressões dos ângulos calculados que podem ser expressos do seguinte modo:

$$(AD) = arctg[(X_D - X_A)/(Y_D - Y_A)] \qquad \textbf{(2.10)}$$

$$(AB) = arctg[(X_B - X_A)/(Y_B - Y_A)] \qquad \textbf{(2.11)}$$

Desenvolvendo a função arco tangente das duas variáveis $\mathbf{X_i}$ e $\mathbf{Y_i}$ ($\mathbf{f(X_i}$ **e** $\mathbf{Y_i)}$) em série de Taylor, para um ponto de coordenadas $\mathbf{X_i^\circ}$ e $\mathbf{Y_i^\circ}$ representando as coordenadas iniciais aproximadas dos pontos do triângulo, os incrementos $\mathbf{x_i}$ e $\mathbf{y_i}$ destes pontos constituem as correções a aplicar para calcular os valores finais do ajustamento (valor mais provável).

Para o presente objetivo, os termos da série de ordem superior a um são desprezados:

$$f[X_i, Y_i] = f[X_i^0, Y_i^0] + |\partial f[X_i, Y_i] / \partial x|_{(X^0, y^0)} x_i + |\partial f[X_i, Y_i] / \partial y|_{(x^0, y^0)} y_i \qquad \textbf{(2.12)}$$

b) Formulação de um sistema de equações, impondo a existência dos resíduos das observações ($\mathbf{v_i}$) resultantes da presença dos inevitáveis de erros nas medições. A equação é do tipo:

$$\alpha_2 - (AD) + (AB) = v_i \qquad \textbf{(2.13)}$$

Este sistema é algebricamente indeterminado uma vez que o número de equações é agora inferior ao número de incógnitas (inseridas as observações residuais).

c) Formulação de um sistema de equações normais cujas incógnitas são as correções $\mathbf{x_i}$ e $\mathbf{y_i}$ da expressão (2.12) impondo a condição de que a soma dos quadrados dos resíduos $\mathbf{v_i}$ seja mínima. O sistema é algebricamente determinado, com o número de equações igual ao número de incógnitas; ele permitirá obter valores ajustados para as coordenadas horizontais dos pontos da triangulação.

3.2.2. Trilateração

3.2.2.1. Princípios e especificações

Este método é similar ao da triangulação, na medida em que as coordenadas de um número de pontos são calculadas pela sua ligação, numa cadeia de triângulos com lados comuns, mas onde a principal medição são as distâncias em vez dos ângulos.

Com o advento dos equipamentos de Medição Electrónica de Distância (EDM) e dos equipamentos de Medição Electro-Óptica de Distância (EODM), a trilateração tem aplicações vastas e pode substituir as triangulações. No entanto, os dois métodos coexistem levando à existência de redes mistas.

Enquanto que na triangulação o controlo pode ser conseguido pela medição dos três ângulos internos de cada triângulo (o controlo pode ser feito diretamente pela soma dos três ângulos), o controlo na trilateração tem que ser feito examinando-se os triângulos adjacentes depois do cálculo dos ângulos a partir dos lados medidos.

Como nas triangulações, para as redes de primeira ordem, é sempre necessário obter um ponto origem e um azimute através de técnicas astronómicas para controlo da orientação.

3.2.2.2. Medição de ângulos e distâncias

Em comparação com a triangulação, que pode ser levada a cabo por um único operador e sem requisitos para os pontos visados exceto quando os alvos são helioscópios ou outro tipo de arranjos luminosos, a trilateração requer sempre a colocação de alvos com prismas ou outro tipo de refletores nos pontos a visar. Esta desvantagem é compensada pela vantagem de ser possível operar mediante condições de visibilidade inferior, o que permite maior flexibilidade ao planeamento e reduz o tempo de trabalho.

3.2.2.3. Cálculo e compensação

Utilizando o método das observações indiretas, o cálculo da compensação segue o mesmo procedimento do das triangulações. São constituídas as equações de condição de lado, relacionando pelo teorema de Pitágoras os lados medidos com as coordenadas dos pontos dos extremos desses lados.

Considerando o triângulo da fig. 2.9, a equação relativa ao lado medido AD ficará:

$$(X_D - X_A)^2 + (Y_D - Y_A)^2 - \overline{AD}^2 = 0 \qquad \textbf{(2.14)}$$

Como na triangulação, (2.14) é desenvolvida em série de Taylor, em torno de um valor aproximado das coordenadas dos pontos A e D ($\mathbf{X_D^o, X_A^o, Y_D^o, Y_A^o}$), e considerando somente os termos de primeiro grau, é construída a seguinte expressão:

$$\left(X_D^0 - X_A^0\right)^2 + 2\left(X_D^0 - X_A^0\right)\left(X_D - X_A\right) + \left(Y_D^0 - Y_A^0\right)^2 + 2\left(Y_D^0 - Y_A^0\right)\left(Y_D - Y_A\right) - \overline{AD}^2 = 0 \qquad \textbf{(2.15)}$$

Onde os incrementos ($\mathbf{X_D - X_A}$) e ($\mathbf{Y_D - Y_A}$) representam as correções a aplicar aos valores iniciais das coordenadas, no sentido de obter os valores finais do ajustamento.

A introdução de observações residuais e a aplicação do princípio dos mínimos quadrados permite a construção de um sistema de equações normais algebricamente determinado para as incógnitas $\mathbf{x_i}$ e $\mathbf{y_i}$.

3.3. Método misto

A combinação de medições angulares, triangulação, de distâncias, e trilateração requer cuidado devido aos diferentes pesos dos dois métodos de medição. O peso de cada observação é inversamente proporcional à variância (μ) dessa observação.

Assim, assumindo para as observações angulares um erro médio quadrático de ±1” (equivalente a $4.9*10^{-6}$ radianos) e para as distâncias um erro médio relativo de 10^{-5} m, o cálculo dos pesos:

$$P_\alpha \approx \left(10^{-6}\right)^2 \approx 10^{-12} \qquad \textbf{(2.16)}$$

$$P_d \approx \left(10^{-5}\right)^2 \approx 10^{-10} \qquad \textbf{(2.17)}$$

As medições angulares têm um peso 25 vezes inferior ao das distâncias.

Então, por exemplo, para combinar equações de observação onde os resíduos têm a mesma precisão das medições nelas presentes, resultantes de medições de distâncias e de ângulos, requer que os termos das equações angulares sejam multiplicados por 100.

3.3.1. Poligonais (Irradiação – ângulo e distância/ Transporte de coordenadas)

3.3.1.1. Princípios e especificações

Este tipo de levantamento é muito frequente em topografia quando se pretendem levantamentos mais específicos em grandes áreas ou quando as visadas estão obstruídas. São determinadas as coordenadas de vários pontos ligados de modo a formarem uma poligonal. Com exceção do primeiro e último ponto, as estações têm que estar acessíveis e geralmente cada estação é visível a partir da anterior e posterior, marcadas para medição de ângulos e distâncias.

Conforme o primeiro e último ponto sejam coincidentes ou não, a poligonal pode ser fechada ou aberta. Conforme as coordenadas de alguns pontos forem conhecidas ou não, pode ser orientada ou não orientada.

Nos modelos topográficos antigos, a triangulação era a única técnica disponível para criar uma rede de pontos numa grande área. As poligonais eram reservadas à ligação de pontos de mais baixa ordem num levantamento detalhado. Se a área era muito pequena, era levantada uma pequena rede para uma poligonal fechada, mas se a área era muito grande e a carta fosse de grande escala com as estações conhecidas mais próximas, a poligonal era ligada aos pontos da triangulação e era considerada aberta. Hoje em dia os EDM e os EODM permitem o levantamento de poligonais com muitos quilómetros e o planeamento de poligonais mais precisas, que podem ser ligadas diretamente aos pontos da rede primária nacional (rede de primeira ordem) substituindo completamente as triangulações de ordem inferior.

Um dos problemas é a propagação dos erros conforme se avança na poligonal. Este erro é a soma algébrica dos erros gerados nas medições dos ângulos e distâncias em cada marca.

3.3.1.2. Medições de base e ângulo

Relacionando as observações onde existe pelo menos uma distância, a poligonal pode ser:

a) Poligonal aberta não orientada (*Iso-determined*): o número de observações é igual ao número de incógnitas (coordenadas das estações). Se existirem "**n**" marcas (pontos), o número de observações necessárias é dado por (2n-3);

b) Poligonal aberta orientada (*Over-determined*): observações redundantes em comparação com as necessárias, pelo que pode ser feito um controlo dos erros de observação, para os compensar, e pode-se obter uma avaliação da precisão dos resultados finais. Ainda, sendo o número de observações redundantes, o número de graus de liberdade pode ir até 3. Para ajustamento das poligonais são aplicados métodos empíricos em vez dos rigorosos.

3.3.1.3. Cálculo e compensação

É considerado que os ângulos horizontais associados aos vértices (estações) de uma poligonal são os obtidos pela rotação no sentido dos ponteiros do relógio a partir da direção anterior (para trás) para a direção seguinte (para a frente). O cálculo dos ângulos nos vértices de uma poligonal é, por conseguinte rigoroso. Conhecendo os ângulos de uma direção é possível calcular a diferença entre o ângulo para a frente e o para trás. Se a diferença for negativa é necessário adicionar 360º.

Esta é designada por "regra de transporte"; a direção num ponto A_i é dada pela soma da direção no ponto precedente A_{i-1} e o ângulo para o ponto A_i, ângulo medido entre os dois lados. Se necessário é adicionado ou subtraído 360º ao resultado para termos uma direção entre os 0º e os 360º.

3.3.2. Poligonais abertas não orientadas (*Iso-determined*)

Tendo por referência a fig. 2.10, os cálculos a efetuar são os que se descrevem:

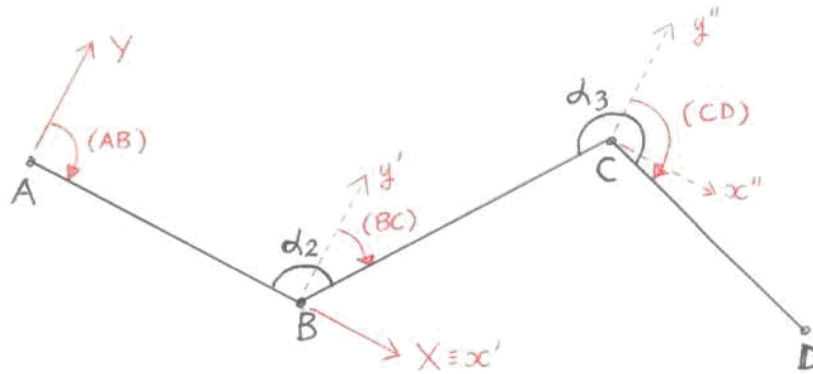



Figura 2.10

a) Calculo, pela “regra do transporte”, dos ângulos das direções dos lados, não esquecendo que o ângulo da direção de partida (AB) é obtido pelo estabelecimento do sistema de referência local (com a direção do eixo dos x sobre o lado AB e o eixo dos y ortogonal a x). Por exemplo, o ângulo da direção BC é dado por:

$$(BC) = (AB) + \alpha_2 \pm 180° \quad \textbf{(2.18)}$$

b) Cálculos da coordenadas de partida, sendo definido como sistema de referência parcial um sistema centrado no ponto precedente ao observado, cujos eixos são paralelo aos descritos anteriormente (indicados na figura por x’, y’, x”, y”). Por exemplo, as coordenadas de C a partir de B são dados por:

$$x_{C(B)} = \overline{BC} \cdot \sin(BC) \quad \textbf{(2.19)}$$

$$y_{C(B)} = \overline{BC} \cdot \cos(BC) \quad \textbf{(2.20)}$$

c) Cálculo das coordenadas finais relativas ao sistema de referência local estabelecido inicialmente em A, cujas coordenadas são X_A=0 e Y_A=0. As coordenadas finais do ponto B são dadas por:

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + x_{B(A)} \\ Y_B &= Y_A + y_{B(A)} \end{aligned} \quad \textbf{(2.21)}$$

E assim sucessivamente para todos os pontos.

Note-se que, se o número de observações (ângulos α_A α_B e distâncias AB, BC, CD) for igual ao número de incógnitas (coordenadas finais X_A Y_A X_B Y_B X_C Y_C) não é possível efetuar ajustamento nem aferir a precisão dos resultados.

3.3.3. Poligonais abertas orientadas (*Over-determined*)

Considere-se o esquema da fig. 2.11. Conhecem-se as coordenadas da primeira e última estação (vértice) da poligonal, A e D, relativas a um sistema de referência externo (por exemplo um Sistema geo-cartográfico nacional) e as coordenadas, relativas ao mesmo sistema, de dois pontos P e Q exteriores à poligonal, utilizados para uma determinação super abundante. As observações

(ângulos α_A α_B α_C α_D e distâncias AB, BC, CD) estão mais relacionadas com as incógnitas representadas pelo sistema de coordenadas dos pontos intermédios (X_B Y_B X_C Y_C). Para cada observação adicional é construída uma equação de observação.

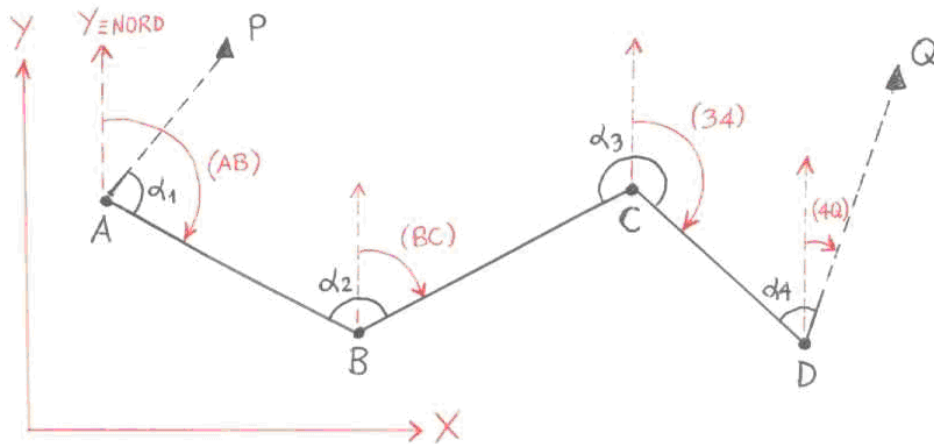



Figura 2.11

Os cálculos a efetuar são os seguintes:

a) Cálculo pela "regra de transporte", dos ângulos não compensados das direções, muitas vezes conhecidos por azimutes, a partir do primeiro ângulo da direção (PA) já compensado e calculado:

$$(PA) = arctg[(X_A - X_P)/(Y_A - Y_P)] \quad \textbf{(2.22)}$$

Por exemplo, a compensação angular da direção do lado DQ (igual a (DQ)') é dada por:

$$(DQ)' = (CD) + \alpha D \pm 180° \quad \textbf{(2.23)}$$

b) Formulação da primeira equação do ajustamento e cálculo do ângulo final ajustado, da direção DQ:

$$(DQ) = arctg[(X_Q - X_D)/(Y_Q - Y_D)] \quad \textbf{(2.24)}$$

A condição a impor a este ponto é a igualdade entre o valor compensado, calculado dado por (2.24), e o não compensado dado por (2.23). A equação é dada por:

$$(DQ)' - (DQ) = 0 \quad \textbf{(2.25)}$$

Atendendo à inevitável presença de erros de observação na medição dos ângulos α_A, α_B, α_C, α_D presentes no cálculo de (DQ)', (2.25) nunca se verificará devido à presença de resíduos designados por "erros angulares de fecho" e representados por $\Delta\alpha$. Então a equação (2.25) vem:

$$(DQ)' - (DQ) = \Delta\alpha \quad \textbf{(2.26)}$$

Não esquecendo que $\Delta\alpha$ tem que ser inferior à tolerância angular estabelecida para o trabalho.

c) Cálculo da compensação angular das direções:

$$(AB) = (AB)' - u\alpha$$
$$(BC) = (BC)' - 2u\alpha$$
$$(CD) = (CD)' - 3u\alpha \qquad \textbf{(2.27)}$$
$$(DQ) = (DQ)' - 4u\alpha$$

Onde **u** representa o "valor unitário de fecho", é igual ao quociente entre o "erro angular de fecho" e o número de ângulos não compensados.

d) Cálculo das coordenadas parciais não ajustadas, relativamente aos sistemas de referência centrados nos pontos cujos eixos são paralelos ao sistema de referência estabelecido inicialmente. Por exemplo, as coordenadas não compensadas de B relativas a A são:

$$\begin{aligned} x_{B(A)} &= \overline{AB}' \sin(AB) \\ y_{B(A)} &= \overline{AB}' \cos(AB) \end{aligned} \qquad \textbf{(2.28)}$$

e) Formulação da segunda e terceira equações impondo a condição de que a soma de todas as coordenadas parciais é igual à diferença entre as coordenadas do último e do primeiro ponto.

$$\begin{aligned} \sum x' - (X_D - X_A) &= 0 \\ \sum y' - (Y_D - Y_A) &= 0 \end{aligned} \qquad \textbf{(2.29)}$$

Do mesmo modo para os ângulos, as equações não se verificarão pois os resíduos, designados por "erro de fecho linear nas abcissas" e "erro de fecho linear nas ordenadas" serão:

$$\begin{aligned} \Delta x &= \sum x' - (X_D - X_A) \\ \Delta y &= \sum y' - (Y_D - Y_A) \end{aligned} \qquad \textbf{(2.30)}$$

Definindo **ΔL** por:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \qquad \textbf{(2.31)}$$

Δx e **Δy** são tais que **ΔL** não seja superior à tolerância linear estabelecida.

f) Cálculo das coordenadas parciais compensadas:

$$\begin{aligned} X_{2(1)} &= X'_{2(1)} - u_x & \qquad Y_{2(1)} &= Y'_{2(1)} - u_y \\ X_{3(2)} &= X'_{3(2)} - u_x & \qquad Y_{3(2)} &= Y'_{3(2)} - u_y \\ X_{4(3)} &= X'_{4(3)} - u_x & \qquad Y_{4(3)} &= Y'_{4(3)} - u_y \end{aligned} \qquad \textbf{(2.32)}$$

Onde $\mathbf{u_x}$ e $\mathbf{u_y}$ representam os valores do "erro linear unitário de fecho" e é igual à relação entre o "erro linear de fecho" relativo às abcissas e ordenadas e o número de coordenadas parciais não compensadas.

g) Cálculo das coordenadas dos pontos intermédios (B e C) desconhecidos, a partir do ponto A de partida, de coordenadas conhecidas, adicionando o valor das coordenadas parciais.

$$X_B = X_A + X_{B(A)} \qquad Y_B = Y_A + Y_{B(A)}$$
$$X_C = X_B + X_{C(B)} \qquad Y_C = Y_B + Y_{C(B)} \qquad \textbf{(2.33)}$$

3.3.4. Poligonais fechadas não orientadas

Considere-se o esquema da fig. 2.12. Conhecem-se as coordenadas da estação A que constitui a origem do sistema de referência cartesiano cujo eixo dos x está estabelecido na direção do primeiro lado AB observado. Os 10 elementos observados foram todos os ângulos internos e todos os lados do polígono enquanto que as 7 incógnitas foram calculadas com redundância no máximo de ordem 3.

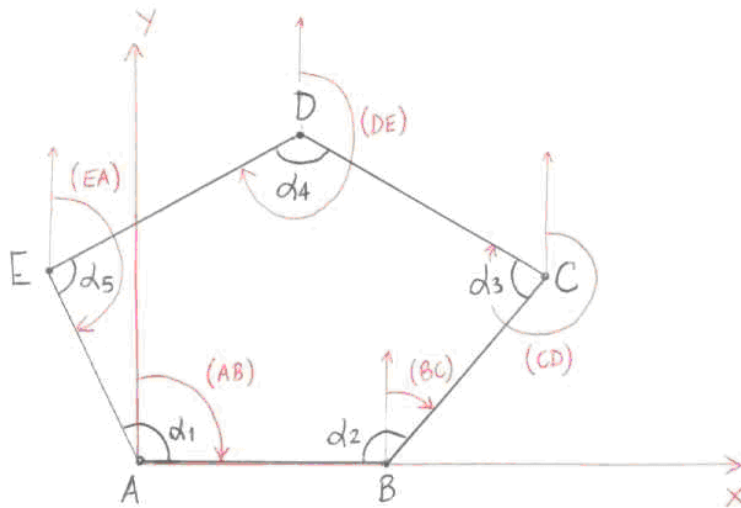



Figura 2.12

Os cálculos seguem as seguintes fases:

a) Controlo e compensação angular, impondo que a soma dos ângulos observados não compensados é igual à soma dos ângulos internos do polígono com "**n**" lados ((n-2)180º). Devido aos erros de observação os resíduos são:

$$\Delta\alpha = \sum \alpha' - (n-2)180^{\circ} \qquad \textbf{(2.34)}$$

De modo que o resultado seja inferior à tolerância fixada. O "erro unitário de fecho" (igual quociente entre o "erro angular de fecho" e o número de ângulos observados) tem que ser uniformemente distribuído por todos os ângulos observados.

$$\alpha_1 = \alpha'_1 - u\alpha$$
$$\alpha_2 = \alpha'_2 - u\alpha \qquad \textbf{(2.35)}$$

E assim sucessivamente. Temos então os ângulos compensados.

b) Cálculo dos ângulos das direções (relativamente à direção do eixo dos y do sistema de eixos local) usando a “regra do transporte”.

c) Cálculo das coordenadas parciais não compensadas com (2.19) e (2.20).

d) Controlo e compensação dos lados, impondo que a soma das abcissas parciais é zero (o mesmo para as ordenadas). Tendo em conta no cálculo das coordenadas parciais não ajustadas que aquela condição não se verifica, temos os resíduos **Δx** e **Δy** (erros de fecho de lado). Definindo a quantidade **ΔL** por:

$$\Delta L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \tag{2.36}$$

Δx e **Δy** devem ser tais que **ΔL** seja inferior à tolerância linear estabelecida. O “erro unitário de fecho” $\mathbf{u_x}$ a ser distribuído pelas abcissas parciais não compensadas; é igual ao quociente “erro de fecho de lado” das abcissas e o número de coordenadas a calcular enquanto que o erro unitário $\mathbf{u_y}$ relativo às ordenadas deve ser calculado pela divisão pelo número de coordenadas a calcular menos 1. Isto porque as coordenadas do ponto B relativamente à origem em A ($\mathbf{Y_{B(A)}}$), não são ajustadas (fixas em 0 pela escolha dos eixos), de modo a que a orientação do sistema de eixos não seja alterada. É então possível continuar a compensação das coordenadas parciais pela subtração de $\mathbf{u_x}$ e $\mathbf{u_y}$ aos valores das abcissas e ordenadas não compensadas, como detalhado em (2.32), à exceção de $\mathbf{Y_{B(A)}}$ de valor como estabelecido inicialmente.

e) Cálculo das coordenadas com (2.21).

3.4. **Método fotogramétrico** (ver também o capítulo 6)

A fotogrametria é uma técnica de levantamento topográfico do terreno ou de objetos através do uso de fotografias tiradas de diferentes pontos de vista.

A fotogrametria convencional é geralmente dividida em duas categorias:

a) Fotogrametria terrestre, onde as fotografias são tiradas a partir de pontos no terreno;

b) Fotogrametria aérea, onde as fotografias são tiradas a partir de um avião.

Esta distinção só abrange os métodos e procedimento utilizados na obtenção das imagens, não estando incluídos os procedimentos de restituição.

Para assegurar a restituição do objeto fotografado é necessário ter pelo menos duas imagens do ponto de interesse, tirado de duas posições diferentes. Se a posição das câmaras for conhecida, as coordenadas espaciais dos pontos de interesse na fotografia podem ser calculadas a partir de duas linhas retas que intersectam as imagens com os centros ópticos relativos. Este é o princípio fundamental da fotogrametria e é comum a todas as técnicas de levantamento fotogramétrico.

Durante o levantamento fotogramétrico existem três quantidades ligadas de diferente modo a vários pontos do levantamento. São elas:

a) As coordenadas tridimensionais (X, Y, Z) dos objetos fotografados;

b) As coordenadas horizontais (x, y) no plano do filme, das imagens dos objetos fotografados;

c) Os parâmetros de orientação, requeridos no estabelecimento da posição da câmara quando fotografou.

No momento da exposição são registados dois conjuntos de quantidades, apesar de não serem conhecidos no momento: coordenadas dos objetos fotografados e os parâmetros de orientação, i.e. a posição e as características ópticas da câmara. Os parâmetros de orientação podem ser calculados a partir do conhecimento das coordenadas espaciais reais e das coordenadas horizontais no filme de alguns pontos conhecidos. Finalmente, na fase da restituição, com os parâmetros de orientação calculados, é possível determinar as coordenadas de todos os pontos observados usando as coordenadas horizontais do fotograma.

Uma das mais importantes aplicações da fotogrametria é a produção cartográfica com escalas de representação entre 1:500 e 1:50 000.

3.4.1. Aerofotogrametria (fotogrametria aérea)

A maioria das cartas é construída por aerofotogrametria. Devido a esta técnica é possível gerar cartas topográficas de grandes áreas em períodos de tempo relativamente curtos, em contraste com o tempo, muitos anos, requerido pelas técnicas tradicionais.

As fotografias aéreas podem ser produzidas de diversas formas, dependendo do tipo de carta a construir e do tipo de câmara a utilizar. Em fotogrametria aérea são geralmente utilizadas câmaras com fotografias nadir (também designado por ponto nadir ou *plumb*) ou seja com o eixo óptico coincidente com o eixo vertical. Isto tem a vantagem de fornecer fotogramas com escala constante caso o terreno for plano bem como permitir a observação estereoscópica.

Mesmo se devidamente ampliados, os fotogramas aéreos podem ser usados como mapas do território fotografado. A fotografia aérea é uma perspectiva central enquanto os mapas são construídos numa projeção ortogonal do terreno, numa superfície de referência. Devido a esta diferença, o segmento vertical que será representado por um ponto no mapa, é representado por um segmento na fotografia.

Outra diferença entre a fotografia e a representação cartográfica deve-se ao fato de no fotograma o fator de escala ser definível somente nos casos em que o objeto é perfeitamente horizontal e o eixo da câmara estritamente vertical. Se na área observada existir diferenças de altitude, a escala do fotograma varia de ponto para ponto só sendo possível definir uma escala média; a escolha de uma escala média determinará a altitude do voo.

Para garantir os princípios fundamentais da fotogrametria, cada ponto da área a levantar tem que ser tirado em fotos separadas, assim dois fotogramas adjacentes têm que sobrepor em 50% do seu comprimento. Para evitar o risco de algumas áreas não terem aquela sobreposição devido a variações na velocidade do avião, é adotada uma sobreposição de 60% a 70%. A sequência de fotogramas na direção longitudinal é designada por fiada (*continuous-strip*). Geralmente é necessário obter várias fiadas que são colocadas transversalmente umas sobre as outras de modo a obter uma sobreposição entre fotogramas de 15% a 30% da sua largura de modo a compensar a inevitável deriva do avião.

3.4.1.1. Restituição fotogramétrica

Depois do levantamento estar completo, os dois fotogramas resultantes representam, a partir de dois pontos diferentes, a projeção perspectiva do objeto. Os pares de fotogramas são usados na restituição dos objetos levantados através de equipamentos complexos (*stereoscopic plotting*) ou de estereoscópios simples, que permitem a observação simultânea dos objetos pelas suas binoculares ópticas, permitindo que cada olho veja somente uma fotografia.

Com a fotogrametria estereoscópica o levantamento não é feito num plano, como nos métodos tradicionais que obtêm medições da realidade, mas de modelos estereoscópicos, observáveis

através de pares de fotografias, que a reconstroem dimensionalmente numa escala apropriada. Nos métodos tradicionais são levantados um número limitado de pontos, enquanto em fotogrametria o objeto é levantado na sua totalidade e as coordenadas dos pontos de interesse podem ser determinadas.

3.4.1.2. Restituição analógica

Neste tipo de restituição o modelo de terreno é construído por meios óptico mecânicos, pelo observador que desenha no papel.

Para prosseguir com a restituição é necessário conhecer com grande precisão, os parâmetros de orientação interna:

a) Distância focal calibrada das lentes da objetiva da câmara;

b) As coordenadas no fotograma, do Ponto Principal calibrado que representa a marca da perpendicular do centro de perspectiva interno ao plano da fotografia (ponto nodal da objetiva). Estas coordenadas são calculadas no sistema de referência interno do fotograma, definido pela intersecção dos pares de marcas gravadas nos pontos médios dos lados do fotograma.

O procedimento para a restituição analógica consiste na reconstrução das circunstâncias de exposição dos dois fotogramas com uma geometria similar entre as duas configurações. Os fotogramas são colocados nos dois projetores que devem ser colocados de tal modo que apresentem uma orientação interna igual à da câmara aérea na fiada. Então os parâmetros da orientação externa têm que ser determinados, de modo a permitir o posicionamento espacial do par de fotogramas … e o modelo de terreno ou o objeto fotografado poder ser recreado. A orientação externa é dividida em:

a) Relativa: define a posição do segundo fotograma em relação ao primeiro. São necessários seis parâmetros, i.e. as três coordenadas relativas do segundo ponto nodal em relação às do primeiro e das rotações. O cálculo destes parâmetros produz seis pares de pontos homólogos enquanto é manualmente eliminada a paralaxe transversal de cada um deles. O modelo estereoscópico é definido, donde nenhuma informação métrica pode ser retirada pois a orientação absoluta e a escala não são conhecidas;

b) Absoluta: define a posição espacial do primeiro fotograma referida a um sistema fixo à terra através de pontos conhecidos. Outros seis parâmetros são necessários pois um corpo no espaço tem seis graus de liberdade. Geralmente estes seis parâmetros são as coordenadas espaciais x_v, y_v, z_v do ponto nodal e os três ângulos de rotação φ_x φ_y τ em torno dos eixos cartesianos que passam pelo ponto principal (fig. 2.13).

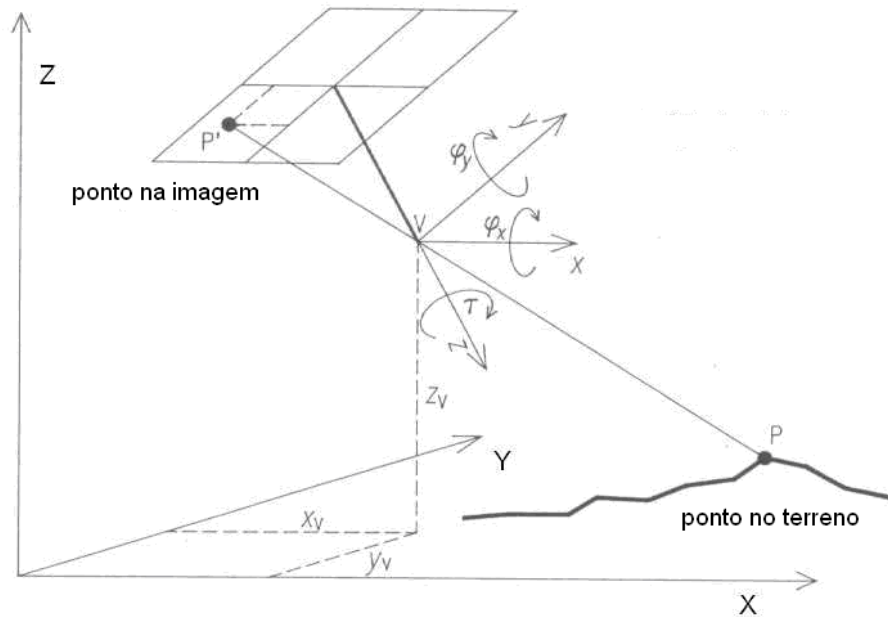



Figura 2.13 “Determinação dos doze parâmetros para a restituição analógica”.

A determinação dos doze parâmetros da orientação externa permite o regresso à posição espacial dos dois fotogramas durante a exposição.

Normalmente, o número mínimo de pontos de controlo no terreno é cinco, dos quais quatro (conhecidas as três coordenadas) estão distribuídos nos limites do modelo e o quinto posicionado perto do centro do modelo para o controlo vertical e do qual só é conhecida a altitude. Deste modo existirão resíduos nas observações, designados por resíduos de orientação que permitem verificar a precisão do modelo fotogramétrico.

As diferenças nos pontos de controlo, entre os valores das coordenadas terreno e as coordenadas do modelo não devem ser superiores a determinados limites

3.4.1.3. Restituição analítica

Técnicas de restituição fotogramétrica numérica têm sido desenvolvidas com o progresso do cálculo numérico automático; estes métodos fazem uso do poder computacional dos modernos computadores para proceder à compilação fotogramétrica.

3.4.1.4. Fotogrametria digital

A fotogrametria tradicional, isto é a estereoscópica ou estéreo – fotogrametria, pode se efetuada por métodos analógicos ou analíticos. Na fotogrametria analógica a restituição é feita através de sistemas ópticos. Na fotogrametria analítica as coordenadas dos pontos observados são determinadas matematicamente.

A fotogrametria digital não recorre somente aos cálculos eletrónicos na fase final, como na restituição analítica, mas também ao tratamento das imagens que são gravadas em formato digital. As fotografias tradicionais também podem ser utilizadas, modificando-as inicialmente com equipamentos que as transformam em sinais digitais como é o caso do digitalizador.

A adoção das imagens digitais permite a automatização de muitas operações, que devem ser executadas na fotogrametria analítica por um operador como é o caso das orientações interna e externa.

3.4.1.5. Aerotriangulação (Triangulação aérea)

Ao longo de um levantamento fotogramétrico, a determinação das coordenadas terreno dos pontos de controlo é geralmente a fase que requer mais tempo, pelo menos 5 pontos por modelo, ou seja por cada par. De forma a reduzir o número, as coordenadas de alguns desses pontos podem ser obtidas por métodos fotogramétricos através da triangulação aérea.

A determinação das coordenadas dos pontos de controlo por triangulação aérea pode ser feita com o método dos modelos independentes. Este consiste em construir a orientação relativa de cada modelo independentemente uns dos outros; os modelos são ligados através de alguns pontos, conhecidos por pontos de ligação, que são comuns a dois modelos (os pontos comuns aos três fotogramas que os produziram) e que estão localizados nas margens dos modelos. No fim é produzido um único bloco de modelos de tamanho igual ao dos modelos ligados. Teoricamente só existirão cinco pontos de controlo para o primeiro modelo; na prática existem pontos de controlo distribuídos ao longo do perímetro do bloco de modelos e alguns pontos altimétricos no seu interior.

No entanto, esta técnica tem sido substituída pelo uso do sistema de posicionamento por satélite GPS que permite a determinação direta das coordenadas terreno dos pontos de controlo, oferecendo simultaneamente a possibilidade de instalação de um receptor GPS no avião.

As coordenadas dos pontos levantados pelo receptor GPS durante a exposição, usando técnicas diferenciais com um receptor de referência fixo no terreno, podem ser usados durante a triangulação aérea como informação adicional, adotando o método dos modelos independentes.

3.5. Intervisibilidade das estações geodésicas

Durante o reconhecimento deve ser SEMPRE verificada a intervisibilidade entre dois pontos no terreno. No entanto, muitas das linhas propostas podem ser verificadas na fase de gabinete através do desenho de perfis a partir de um mapa. Deve ser permitida uma desobstrução de pelo menos 5 m, preferencialmente 10 m às visadas, tendo-se particular cuidado onde os edifícios aparecem junto ao fim das linhas.

Quando se investiga a intervisibilidade, para linhas longas, é necessário ter em conta a curvatura terrestre. Deve ser aplicada a fórmula expressa no parágrafo 3.5.3.

Na fig. 2.14, as estações “A” e “B” de altitudes “H_A” e “H_B” estão separadas por uma distância “D”. A linha de vista “AB” é tangente à esfera concêntrica da Terra a uma altitude “y” e a uma distância “x” de “A”. O problema consiste em determinar a que altitude “h” uma elevação de terreno a distancia “d_A” de “A” obstrui a linha de vista.

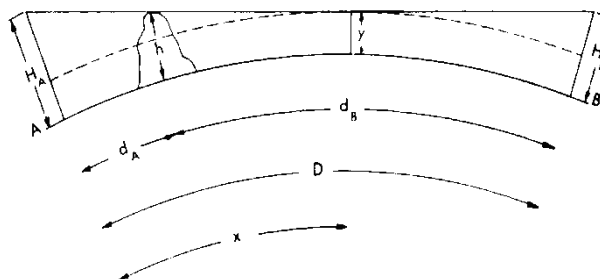



Figura 2.14 “Intervisibilidade entre estações geodésicas”

A altitude de um objeto a uma distância “s”, que aparece no horizonte de um observador, é:

Ks² , onde $K = \dfrac{\frac{1}{2} - k}{r}$ e **k** é o coeficiente de refração e **r** é o raio da Terra

Então,

$$H_A - y = Kx^2$$

$$H_B - y = K(D - x)^2$$

Onde

$$x = \frac{D}{2} - \left(\frac{H_B - H_A}{2KD}\right) \quad \text{e} \quad y = H_A - Kx^2$$

(2.37)

$$h = y + K(d_A - x)^2$$

Então $$h = \frac{d_A H_B}{D} + \frac{d_B H_A}{D} - Kd_A d_B \qquad \textbf{(2.38)}$$

Usando este formulário, os problemas de intervisibilidade podem ser resolvidos. Deve ter-se atenção na correta utilização das unidades de medida.

Quando as altitudes estão em metros e as distâncias em quilómetros, K=0.0675.

Demonstração da fórmula 2.38:

$$h = y + K(d_A - x)^2 \qquad \textbf{(2.39)}$$

$$= H_A - Kx^2 + Kd_A{}^2 - 2Kd_A x + Kx^2$$

$$= H_A + Kd_A{}^2 - 2Kd_A \frac{D}{2} + \frac{2Kd_A H_B}{2KD} - \frac{2Kd_A H_A}{2KD}$$

$$= H_A + Kd_A{}^2 - (Kd_A d_A + Kd_A d_B) + \frac{d_A H_B - d_A H_A}{D}$$

$$= \left(\frac{d_A H_A + d_B H_A}{D}\right) + \left(\frac{d_A H_B - d_A H_A}{D}\right) - Kd_A d_B$$

$$= \frac{d_B H_A}{D} + \frac{d_A H_B}{D} - Kd_A d_B \qquad \textbf{(2.40)}$$

4. MÉTODOS DE CONTROLO VERTICAL

4.1. Nivelamento Geométrico

4.1.1. Princípios e especificações

Os nivelamentos são operações que permitem a medição da diferença de altitudes ortométricas (ou altitudes acima do Geóide, denominadas também de cotas) entre pontos ou a sua diferença de alturas.

O princípio do nivelamento geométrico consiste em considerar dois pontos (A e B) a uma distância curta, não mais de cerca de 100 metros (fig. 2.15), com duas estádias ou miras colocadas na vertical sobre eles e, no ponto M, equidistante de A e de B é colocado um instrumento (nível) que tenha um eixo de colimação horizontal, ou que seja (para pequenas alturas) paralelo ao plano tangente ao geóide, em M_0. Duas séries de leituras são efetuadas nas miras, l_A e l_B.

A seguinte expressão pode ser imediatamente concluída a partir da figura, com a premissa de que o geóide coincide, para a curta distância considerada, com a esfera local em M0:

$$Q_A + l_A = Q_B + l_B \quad \textbf{(2.41)}$$

de onde:

$$Q_B - Q_A = l_A - l_B \quad \textbf{(2.42)}$$

onde: Q_A = altitude ortométrica (cota) em A

Q_B = altitude ortométrica (cota) em B

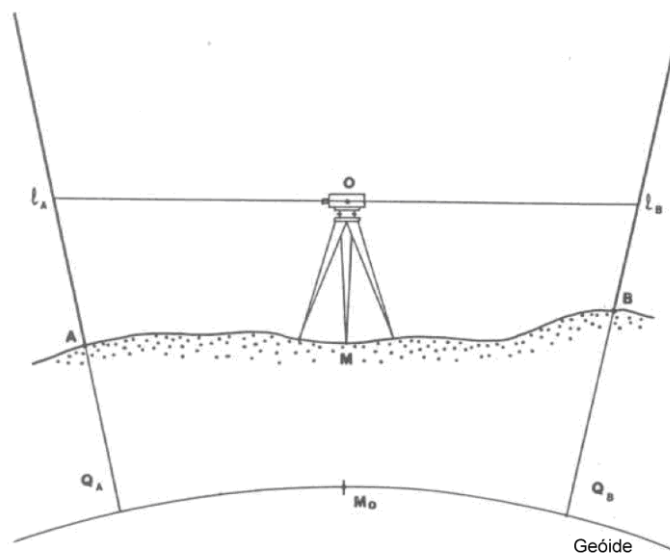



Figura 2.15 "Nivelamento geométrico"

Uma vez que a distância entre os dois pontos é escolhida de forma a que se possa desprezar a influência da curvatura da terra, o nível pode ser, teoricamente, colocado em qualquer posição entre A e B, para diminuir a influência da refração atmosférica.

Quando o objetivo é calcular uma diferença de cotas entre pontos a uma distância tal que não é possível efetuar uma ligação direta entre eles, é necessário realizar um nivelamento composto. A distância entre o ponto inicial A e o ponto final B do percurso do nivelamento é dividido num conjunto de troços para que o comprimento de cada não exceda 100 metros, sendo as miras colocadas nos pontos de divisão dos troços.

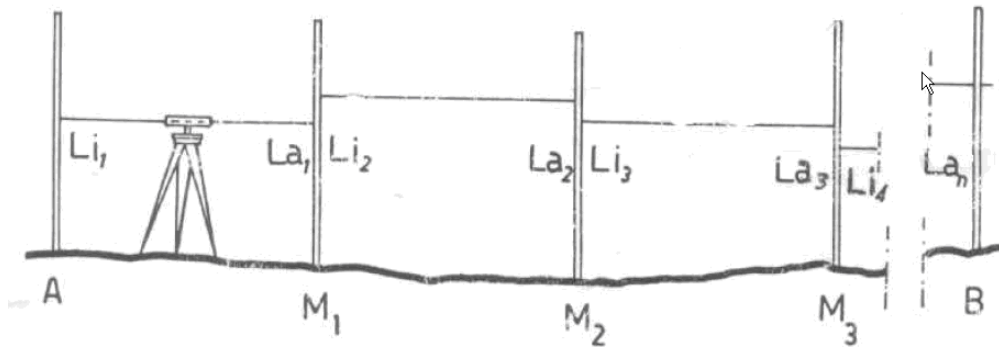



Figura 2.16 "Desníveis entre os vários pontos"

Partindo do ponto A, a diferença de cotas entre M_1 e A é determinada conforme foi detalhado anteriormente. De seguida o nível é transportado para um ponto entre M_1 e M_2, e a diferença (L_{i2} - L_{a2}) é determinada entre estes pontos (depois de se ter rodado a mira em M_1 sobre si mesma e transportada a que estava em A para M_2); este processo é repetido até se chegar ao ponto final. A diferença de cotas entre A e B será dada por:

$$Q_B - Q_A = \Sigma_n (l_{in} - l_{an}) \qquad \textbf{(2.43)}$$

4.1.2. Medições e controlo de qualidade

Um controlo efetivo das medições consiste em executar o nivelamento em ambos os sentidos (nivelamento e contra-nivelamento), mas retornando por um caminho diferente de comprimento comparável. A diferença dos valores obtidos para a diferença de cotas entre o ponto inicial e o ponto final tem que estar dentro de uma tolerância definida, dependendo da exatidão pretendida. O valor final a ser utilizado deve ser a média dos valores obtidos nos dois percursos.

Durante a operação e antes de cada observação para as miras, é boa prática controlar o alinhamento do nível de bolha de ar do instrumento de nivelamento.

Alguns instrumentos de nivelamento estão equipados com um nível circular (nível universal ou nível de olho de boi) e os mais modernos estão equipados com um nível de autonivelamento.

4.1.3. Fontes de erro

Não considerando a possível inclinação da linha de visada, os erros acidentais de cada observação podem ser separados em duas componentes:

a) Erro de colimação (ou da leitura das miras): proporcional à raiz quadrada da distância (de colimação);

b) Erro de alinhamento (ou de leitura) dos níveis (nos níveis de auto-nivelamento é substituída pelo desalinhamento do compensador): proporcional à mesma distância.

Deve ser considerado o erro médio de todo o nivelamento, supondo que o erro médio de cada observação é constante e igual a $\boldsymbol{\sigma}$. Uma vez que a diferença de cotas total é igual à soma das diferenças de cota parciais, o erro médio $\boldsymbol{\sigma_t}$ de todo o nivelamento é:

$$\sigma_t^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 \ldots\ldots \sigma_n^2 = n\sigma^2 \qquad \textbf{(2.44)}$$

Logo:

$$\sigma_t = \sigma\sqrt{n} \qquad \textbf{(2.45)}$$

4.1.4. Cálculos e compensação das observações

Tal como acontece com outras operações, os nivelamentos geométricos podem ser ajustados empiricamente ou através de métodos rigorosos, aplicando a teoria dos mínimos quadrados.

Um ajustamento elementar de um percurso de nivelamento consiste em assumir a média entre as medições realizadas em ambas as direções.

Um ajustamento empírico pode ser aplicado nos nivelamentos de baixa precisão, que são executados sem a repetição das medições (contra-nivelamento), mas que fecham na marca de nivelamento de partida (polígono fechado) ou que são realizados entre duas marcas de nivelamento de cota conhecida; neste caso, o erro de fecho é distribuído de forma empírica entre as diferenças de cotas.

Partindo do pressuposto de que o erro de fecho é proporcional à distância do percurso em que é efetuado o nivelamento, pode simplesmente dividir-se o erro de fecho pela distância total do nivelamento determinando-se assim um valor de erro por metro de nivelamento. Em seguida, cada ponto intermédio é corrigido usando o valor do erro de nivelamento por metro multiplicado pelo comprimento do percurso realizado até esse ponto.

O ajustamento é mais complicado quando as linhas de nivelamento constituem uma rede; neste caso, é necessário aplicar um ajustamento mais rigoroso, de preferência pelo método das observações indiretas. As incógnitas do problema, resolvidas por este método, são as correções a aplicar aos valores aproximados da cota de cada ponto da rede, que permitem obter os valores mais prováveis para o conjunto.

São construídas equações impondo a condição de que a diferença entre a cota medida e a obtida a partir do ajustamento da rede, tenda a ser nula.

Devido à presença inevitável de erros acidentais na determinação da diferença de cotas, estas equações normalmente não são satisfeitas, e no 2º termo são realçados os resíduos do ajustamento. As equações nesta forma são denominadas equações geradas.

Com distâncias diferentes entre os pontos da rede de nivelamento, é necessário atribuir pesos às observações. Os pesos devem ser iguais ao inverso da soma das distâncias.

Com o objetivo de reduzir as observações de diferentes precisões ao mesmo peso (importância), é necessário atribuir um fator de escala, multiplicando as respectivas equações pela raiz quadrada do peso. Isto vai resultar num conjunto de equações igual, em número, à quantidade de observações efetuadas. Para obter os valores mais prováveis das incógnitas do problema (neste caso as correções aos valores iniciais das cotas), é necessário reduzir a equações de observação a equações normais, utilizando o princípio dos mínimos quadrados.

A solução das equações normais dá-nos os valores únicos e matematicamente mais prováveis para corrigir as cotas provisórias.

O erro médio por unidade de peso (o quadrado desta expressão é a variância de referência), é igual a:

$$m_0 = \pm\sqrt{\sum_i p_i v_i^2} \;/\; (n-i) \qquad \textbf{(2.46)}$$

onde:

p_i: pesos das observações (inversamente proporcionais à distância);

v_i: resíduos das observações;

n: número de equações geradas;

i: número de incógnitas.

É suficiente considerar como grau de confiança de quanto é que é assumido para peso unitário 1/1 km. Se os termos conhecidos, e os consequentes resíduos da compensação forem expressos em milímetros, m_0 representa o erro médio em milímetros por quilómetro, e é sob esta forma que a tolerância é normalmente expressa no nivelamento geométrico (lembrando que a tolerância ou o erro máximo admitido é considerada igual a três vezes o erro médio quadrático).

4.2. Nivelamento trigonométrico

4.2.1. Princípios e especificações

O nivelamento trigonométrico baseia-se na utilização de um teodolito para a medição de ângulos zenitais. Esta metodologia é utilizada para qualquer distância, desde alguns metros até mais de 10 km. É usada frequentemente para a determinação de cotas de pontos de uma triangulação. É também aplicada em outros casos, como por exemplo quando a distância entre os pontos, para os quais a diferença de cota é necessária, é conhecida.

Para distâncias inferiores a cerca de 400 metros, a utilização de uma superfície plana de referência implica erros negligenciáveis e resulta em cálculos simplificados com erros médios da ordem dos 5 cm.

O nivelamento neste caso é denominado trigonométrico topográfico e a diferença de cotas entre dois pontos A e B (Δ_{AB}) é dada por:

$$\Delta_{AB} = d \cdot \cot g\, \varphi_A + h - 1 \qquad \textbf{2.47)}$$

onde:

d: é a distância horizontal entre A e B (sobre a superfície plana de referência);

φ_A: é o ângulo zenital de A para B, medido com um teodolito;

h: é a altura do teodolito em relação ao solo;

l: é a altura do alvo, em B, em relação ao solo.

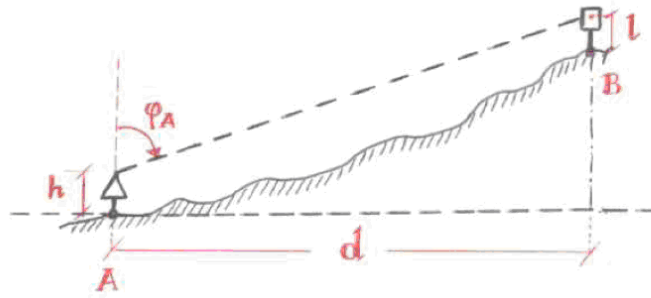



Figura 2.17 "Nivelamento trigonométrico"

A aproximação por uma superfície de referência plana não é aceitável para distâncias superiores a 400 metros. Nesse caso, três correções fundamentais devem ser aplicadas aos cálculos simplificados usados no nivelamento trigonométrico topográfico:

a. Esfericidade (curvatura da terra);

b. Refração;

c. Altura.

Tendo em conta estes fatores, o procedimento para o cálculo da diferença de cota é denominado nivelamento trigonométrico. Uma vez que a distância entre os dois pontos, entre os quais a diferença de cota está a ser determinada, nunca é maior de 20 km e normalmente é menor, os cálculos podem ser realizado sobre a esfera local.

4.2.2. Correção de esfericidade

Esta correção tem em conta a curvatura da esfera local em relação ao plano adotado, com o pressuposto de que é desprezável a divergência entre as normais (ao plano e à esfera no ponto onde o alvo está posicionado) ao longo da qual a diferença de cota está a ser determinada.

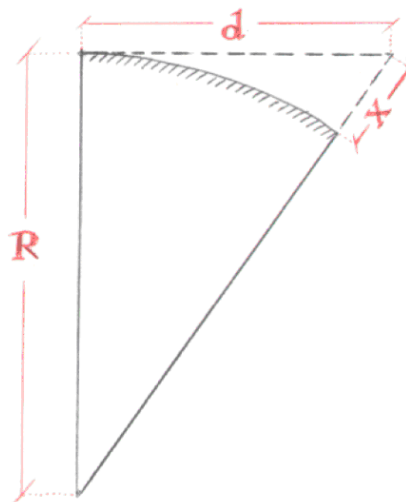



Figura 2.18 "Correção de esfericidade"

onde:

X: é a correção devido à esfericidade;

d: é a distância plana entre os dois pontos;

R: é o raio da esfera local adotada.

Aplicando o teorema de Pitágoras ao triângulo da figura 2.18:

$$d^2 + R^2 = (X + R)^2 \qquad \textbf{(2.48)}$$

desenvolvendo e dividindo ambos os termos por **2R** e considerando a relação **X^2/2R** desprezável, a correção da esfericidade é dada por:

$$X = d^2/2R \qquad \textbf{(2.49)}$$

4.2.3. Correção de refração

Esta correção deve ser aplicada para ter em conta a curvatura que os raios luminosos sofrem quando atravessam camadas da atmosfera de densidade diferente. Essa curvatura tende sempre a resultar numa curvatura "para baixo".

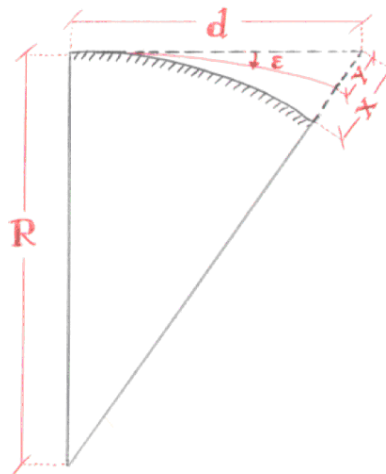



Figura 2.19 "Correção da refração"

onde:

X: é a correção de esfericidade;

Y: é a correção de refração;

R: é o raio da esfera local adotada;

ε: é o ângulo dependente do coeficiente de refração K (≈ 0,14) [ε = K d / 2R]

Assumindo que Y e ε são pequenos, podemos considerar:

$$Y = d\,\varepsilon \qquad \textbf{(2.50)}$$

e, portanto, substituindo a expressão de ε na expressão(2.14), ver 3.2.2.3 do capítulo 2, podemos considerar que:

$$Y = Kd^2/2R \quad \textbf{(2.51)}$$

A combinação das correções de esfericidade e refração, identificada pela quantidade (**X-Y**); pode ser calculada da forma seguinte:

$$(X-Y) = (1-K)d^2/2R \quad \textbf{(2.52)}$$

4.2.4. Correção de altura

A correção de altura deriva do fato de a distância medida não ser a distância horizontal, que é o valor que deve ser considerado em (2.47), ver o ponto 4.2.1 do Capítulo 2.

A relação entre a distância oblíqua (medida) "$\mathbf{d_{obl}}$" e a distância horizontal "$\mathbf{d_{hor}}$" é definida por:

$$d_{hor} = d_{obl}\,(1+Q_m/R) \quad \textbf{(2.53)}$$

onde $\mathbf{Q_m}$ representa a média aritmética das cotas dos dois pontos.

Em resumo, a fórmula a adotar para o nivelamento trigonométrico a partir de cada extremidade, tendo em conta as três correções descritas, é a seguinte:

$$\Delta_{AB} = d_{obl}.(1+Q_m/R).\text{cotg}\ \varphi_A + (1\text{-}K).d_2/2R+h\text{-}1 \quad \textbf{(2.54)}$$

Ao adotar esta abordagem, o fator mais sensível é a previsão do coeficiente de refração **K**, especialmente para distâncias superiores a 10 km.

Para eliminar este fator pode ser usada a técnica de nivelamento trigonométrico com observações recíprocas simultâneas, onde duas equipas medem simultaneamente os dois ângulos zenitais e as distâncias obliquas entre os dois pontos selecionados. São assim produzidas duas equações com duas incógnitas: $\mathbf{\Delta_{AB}}$ e **K**. Desta forma, já não é necessário efetuar a previsão do coeficiente de refração **K**.

4.2.5. Fontes de erro

Uma vez que se podem considerar insignificantes os erros na medição de "**h**" e "**l**", bem como a erro da altura média ao longo da distância (sempre menores que os erros dos nivelamentos trigonométricos para distâncias longas), para uma análise da precisão pode ser utilizada a fórmula simples:

$$\Delta_{AB} = d_{or}\ \text{cotg}\ \varphi_A + (1\text{-}K)\ d_2/2R \quad \textbf{(2.55)}$$

a partir da teoria dos erros, o erro médio $\mathbf{m_H}$ (neste caso uma função não linear), da diferença de cota $\mathbf{\Delta_{AB}}$ será:

$$m_H = \pm\sqrt{\left[\left(\frac{\partial\Delta_{AB}}{\partial d}\right)^2 \cdot m^2{}_d + \left(\frac{\partial\Delta_{AB}}{\partial\varphi_A}\right)^2 \cdot m^2{}_{\varphi_A} + \left(\frac{\partial\Delta_{AB}}{\partial K}\right)^2 \cdot m^2{}_K\right]} \quad \textbf{(2.56)}$$

na qual $\mathbf{m_d}$, e $\mathbf{m_{\varphi A}}$ $\mathbf{m_K}$ são respectivamente a média dos erros da distância, do ângulo zenital e do coeficiente de refração. Diferenciando em ordem a **d**, $\mathbf{\varphi_A}$ e **K**, obtém-se:

$$\frac{\partial \Delta_{AB}}{\partial d} = \cot\varphi_A + (1-K)\times\frac{d}{R}$$ (com o segundo termo desprezável)

$$\frac{\partial \Delta_{AB}}{\partial \varphi_A} = -\frac{d}{\sin^2\varphi_A}$$

$$\frac{\partial \Delta_{AB}}{\partial K} = -\frac{d^2}{2R} \qquad \textbf{(2.57)}$$

Analisando os três termos dentro da raiz em (2.56), pode-se dizer que:

a) No primeiro termo, admitindo como erro médio da distância o valor de 1/50000 (2 cm por km), o erro na diferença de elevação vai depender de **α**, o ângulo de inclinação, ($\alpha=90°-\varphi_A$). Com α=0°, o erro elimina-se por si. É, no entanto, sempre pequeno (isto é, para α= ± 10° e d =5 km, o erro será 1,6 cm).

b) No segundo termo, atribuindo a **α** um valor médio de 10°, o erro vai depender do erro médio do ângulo zenital $\boldsymbol{\varphi_A}$, e da distância **d** (para m·α=±10° e d=5 km, o erro resultante é 12,1 cm).

c) No terceiro termo, o erro é uma função do erro central de **K** e, neste caso, do quadrado da distância (isto é, para m·K = ±0,015 e d = 5km, o erro resultante é de 2,9 cm).

A partir desta análise, é evidente que a maior influência advém dos erros na medição dos ângulos zenitais. Assim, essas medições devem ser empreendidas com a luneta direta e invertida com o objetivo de compensar os erros da verticalidade do eixo do instrumento. Como regra, é preferível realizar as observações quando o coeficiente de refração K é mais estável, o que ocorre cerca do meio-dia, apesar de a estas horas, em virtude do calor do sol, as imagens aparecerem menos estáveis; este problema pode ser ultrapassado através da determinação da média de várias medições.

No entanto, para distâncias superiores a alguns quilómetros, a média dos erros nas diferenças de elevação pode ser considerada proporcional às próprias distâncias.

4.2.6. Cálculos e Compensação das observações

Na teoria dos erros, os pesos das observações a considerar no ajustamento são proporcionais ao inverso do quadrado da média dos erros destas observações. Sendo também proporcionais às distâncias, os pesos vêm assim inversamente proporcionais aos quadrados das distâncias. A compensação só deve ser aplicada em nivelamentos trigonométricos para distâncias médias e longas, sendo normalmente realizados quando se está a efetuar a expansão de redes trigonométricas. O nivelamento trigonométrico em distâncias curtas envolve levantamentos de pormenor e utiliza o princípio do nivelamento trigonométrico com métodos topográficos.

O processo de ajustamento é similar ao que se efetua no nivelamento geométrico, tendo como única diferença a atribuição dos pesos. Deve ser recordado que, dado que a fiabilidade do nivelamento trigonométrico para distâncias quilométricas é significativamente inferior à do nivelamento geométrico, é aceitável a realização de ajustamentos empíricos.

4.3. Altimetria com GPS (Método de Controlo Vertical com GNSS)

O GPS (que utiliza os métodos de posicionamento relativo) gera as componentes da linha de base entre os pontos do levantamento, a partir dos quais as coordenadas geocêntricas XYZ são obtidas no sistema de referência WGS84. As coordenadas geodésicas **φ**, **λ** e **h** (altura elipsoidal) são obtidas através de fórmulas de transformação.

No entanto, as altitudes ortométricas **H** estão relacionadas com a superfície do geóide e não com o elipsóide. Por isso, é importante conhecer a ondulação do geóide ou a sua variação nos pontos conhecidos. Apenas em áreas muito pequenas (<10 km) e para fins cartográficos, o geóide pode ser aproximado por um plano horizontal. No caso de grandes áreas, é necessário utilizar modelos globais do geóide (e.g. OSU91A, EGM96) (que estão disponíveis no software de processamento de dados GPS e nos receptores). No entanto, estes apenas contêm parcialmente os efeitos da distribuição de massas locais. As estimativas nacionais do geóide local são realizadas por medições gravimétricas. As interpolações desses modelos produzem valores da ondulação do geóide N, necessários para a determinação das altitudes ortométricas.

Esses geóides locais são gravimétricos e independentes dos valores obtidos da ondulação geóide a partir da combinação de observações GPS e de nivelamentos geométricos; sendo estimados num sistema de referência geocêntrico que não coincide com o WGS84, tendo ligeiras diferenças na origem do eixo geocêntrico e na orientação dos eixos principais.

Portanto entre os dois sistemas de referência, é necessário realizar uma transformação denominada "localização do geóide".

Para calcular esta transformação, parte-se dos valores das altitudes ortométricas **H** de algumas posições GPS, obtidas através de operações de nivelamento geométrico, e a ondulação experimental $\mathbf{N_{WGS84}}$ é avaliada partindo da altura elipsoidal **h** derivada da compensação da rede GPS.

O efeito da localização **δN** é:

$$\delta N = N_{WGS84} - N_{geoidelocal} \qquad \textbf{(2.58)}$$

com $N_{WGS84} = h - H$.

Uma transformação de datum no sentido mais estrito implica uma rotação e uma translação espaciais com uma variação de escala, mas em áreas pouco extensas a componente altimétrica pode ser separada, estimando os parâmetros da equação de um plano partindo de valores de **δN** de pelo menos três pontos, para os quais a altura é conhecida em ambos os sistemas de referência, com a seguinte expressão:

$$a_1X_i + a_2Y_i + a_3 = \delta N_i \qquad \textbf{(2.59)}$$

sendo $\mathbf{X_i}$ e $\mathbf{Y_i}$ as coordenadas cartográficas dos pontos para os quais as alturas foram medidas duas vezes e $\mathbf{a_1}$, $\mathbf{a_2}$ e $\mathbf{a_3}$ os parâmetros do plano a ser estimado. Este plano descreve a diferença no Datum entre a N_{WGS84} e a $N_{geoidelocal}$. Os três parâmetros desconhecidos podem ser estimados utilizando o método dos mínimos quadrados se o número de pontos com altura conhecida em ambos os sistemas for maior do que três.

5. INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA ESTABELECER O CONTROLO HORIZONTAL E VERTICAL

5.1. Receptor GNSS (*Global Positioning System*)

Os receptores GPS podem ser classificados de acordo com as medições que são capazes de realizar e com a exatidão do posicionamento final, como se verá mais adiante no ponto 6.2:

a) Receptores de medição do código: são apenas capazes de adquirir a componente C/A do sinal transmitido. São por vezes denominados "de mão" devido ao seu tamanho reduzido. Alguns podem receber correções diferenciais (em conformidade com o protocolo padrão

RTCM - 104) para melhorar a precisão do posicionamento. A sua utilização destina-se exclusivamente à navegação.

b) Receptores de frequência única: para além do código C/A, podem também adquirir a fase da portadora L1. Determinam o posicionamento através das medições com o código ou com a fase L1, em modo absoluto, relativo ou diferencial.

c) Receptores de código P e dupla frequência: são os mais capazes disponíveis no mercado. Podem adquirir todas as partes do sinal (L1, L2, C/A, P). Determinam a posição com as medições do código ou fase das portadoras L1 e L2 (em modo absoluto, relativo ou diferencial). Assim, podem ser utilizados em todas as variantes de posicionamento estático e cinemático. São especialmente adequados para métodos de inicialização dinâmica "*On The Fly*" (OTF).

d) Receptores de código Y e dupla frequência: idênticos aos receptores de código P, mas podem também adquirir o código P codificado *Anti-Spoofing* (A/S).

5.2. Instrumentos eletrónicos

A medição de distâncias usando sistemas de medição com recurso à emissão de ondas eletromagnéticas teve desenvolvimentos notáveis nos últimos anos. Cada vez mais os fabricantes de instrumentos de topografia incluem dispositivos de medição de distâncias por ondas eletromagnéticas nos seus teodolitos. Estes sistemas, internacionalmente denominado EDM (equipamento eletrónico de medição de distâncias/*Electronic Distance Measuring Equipment*) ou DME (equipamento de medição de distâncias/*Distance Measuring Equipment*)[24], funcionam de duas maneiras diferentes:

a) Medição de fase;

b) Medição de impulsos.

5.2.1. Medição Electrónica da Distância através da Fase

Estes instrumentos têm por base a teoria da propagação de ondas eletromagnéticas. Propagando-se numa onda sinusoidal, com uma velocidade igual à da luz no ar ($\mathbf{c_{air}}$), que é ligeiramente inferior à velocidade no vazio, sendo igual à relação entre a velocidade no vazio ($\mathbf{c_0}$) e o índice de refração do ar ($\mathbf{\nu_{air}}$), que depende da temperatura, pressão e umidade: {$\mathbf{c_{air} = c_0/\nu_{air}\ (t,p,h)}$}

Estes equipamentos de medição electrónica de distâncias são compostos por três partes distintas: o transmissor, o refletor e o receptor. O primeiro e o último elemento estão contidos no conjunto do equipamento que é estacionado na estação ocupada, o refletor é separado e é colocado sobre o ponto para o qual se pretende determinar a distância.

O transmissor produz um sinal numa frequência previamente estabelecida. O refletor amplifica e reflete o sinal, que é recebido por um discriminador de fase capaz de determinar a diferença de fase entre os sinais transmitidos e recebidos com uma precisão da ordem de um centésimo de radiano.

Uma vez que o sinal percorreu a distância entre os dois pontos, duas vezes, num sentido e no outro, esta dupla distância poderia ser facilmente calculada se fosse possível determinar o número inteiro de ciclos que se passaram entre a transmissão e a recepção do sinal. Para poder determinar

---

[24] (IHO S-32 - quinta edição de 1994, #1406 e #1576)

esse número inteiro de ciclos, que é denominado ambiguidade, as medições eletromagnéticas da distância através da fase utilizam três técnicas diferentes:

a) A modulação para dez;

b) O método das três frequências;

c) A modulação da frequência do sinal.

5.2.1.1. Modulação para dez

Com esta técnica dois ou mais sinais são enviados em sequência com frequências diferentes, variando múltiplos de 10 (daí o nome), a fim de se medir a distância através da diferença de fase.

O primeiro sinal enviado tem um comprimento de onda maior que o dobro do alcance do equipamento. Desta forma, a distância pode ser determinada sem ambiguidade através da equação:

$$d = \left(\frac{\lambda}{2}\right) \cdot \left(\frac{\Delta\varphi}{2\pi}\right) \quad \textbf{(2.60)}$$

em que **d** representa metade da distância dupla.

No entanto, com este método, a distância é determinada com uma baixa exatidão. Se a distância do EDM ao alvo for de 1 km, o sinal teria um comprimento de onda de pelo menos 2 km, então, a distância seria determinada com uma precisão igual a 1,59 m, aplicando a equação (2.60) com uma precisão do discriminador de fase igual a 1/100 de radiano. Essa precisão é, obviamente, inaceitável na medição de distâncias de cerca de 1 km. Para resolver este problema, após a transmissão do primeiro sinal e do cálculo de um primeiro valor aproximado para a distância, um segundo sinal é transmitido, com comprimentos de onda igual a 1/100 do sinal anterior. Neste caso, a determinação da distância exige a definição da ambiguidade das fases, o que é possível tendo já um valor aproximado da distância entre os dois pontos com uma precisão suficiente para a calcular. Desta forma, o valor da distância melhora 100 vezes e a precisão atinge, para o exemplo acima, um valor de 1,6 cm, o que poderá ser já considerado aceitável. É ainda possível transmitir outro sinal de uma onda com um comprimento igual a 1/100 do segundo sinal, melhorando assim a precisão para alguns milímetros.

5.2.1.2. Método das três frequências

É composto por uma variação do método anterior, utilizando-se duas frequências quase iguais com comprimentos de onda da ordem do alcance do equipamento, o que permite a determinação de uma primeira aproximação da distância. Uma terceira frequência com comprimentos de onda muito menor do que os dois primeiros permite a determinação da distância com uma elevada precisão.

5.2.1.3. Variação da frequência

Com esta técnica a frequência do sinal transmitido, começa com um valor definido, é aumentada (ou diminuída) até se obter uma diferença de fase entre o sinal enviado e o recebido, igual a zero. A determinação da distância pode ser calculada com uma equação em que o número de ciclos permanece desconhecido, porém, ao continuar a aumentar a frequência (e portanto reduzir o comprimento de onda). Uma diferença de fase zero vai voltar a ser produzida entre os sinais transmitidos e recebidos, quando o número de ciclos inteiros aumentar um valor inteiro. Nesse instante, a partir da combinação das duas equações (correspondentes aos dois valores do comprimento de onda) a ambiguidade da fase pode ser resolvida.

Nas duas primeiras técnicas (modulação para dez e método das três frequências), a determinação da diferença de fase é necessária. Isso pode ser conseguido através de um discriminador de fase

composto por um transformador de ondas sinusoidais, de forma que as ondas quadradas (transformador analógico-digital) são transmitidas e recebidas, e utilizando um cronómetro que conte o tempo até que as ondas quadradas são ambas positivas e negativas. Este tempo é transformado num valor de distância. É evidente que, para aumentar a precisão da medição, este cálculo é repetido milhares de vezes levando apenas alguns segundos para concluir as medições.

Recentemente alguns DME que determinam a distância através da fase têm sido produzidos sem discriminador. Usam a correlação matemática entre os sinais transmitidos e recebidos para determinar a diferença de fase, permitindo a obtenção de maiores precisões na medição das distâncias. De acordo com a frequência produzida, os DME que determinam a distância através da fase podem ser classificados como:

a) MDM (Distanciamentos por Microondas);

b) EODM (Distanciamentos electro-ópticos).

O primeiro grupo utiliza frequências na ordem dos 30 MHz (comprimentos de onda centimétricos) e são utilizados para determinar longas distâncias. Nestes instrumentos o refletor é ativo, ou seja, é capaz de amplificar o sinal recebido refletindo-o com maior potência.

A necessidade de se alterar a frequência do sinal transmitido envolve algumas considerações e permissão para a propagação de ondas eletromagnéticas através da atmosfera. Na realidade, apenas algumas gamas de frequência são capazes de passar pela atmosfera sem grandes perdas de potência. Raios infravermelhos (comprimentos de onda micrométricos), que requerem um consumo limitado de energia elétrica, não são excessivamente influenciados pela luz solar, sendo utilizados para a determinação das distâncias de 2-3 quilómetros. As ondas centimétricas, denominadas microondas hertzianas, que tem comprimentos de onda de poucos centímetros, são também utilizada para a determinação de distâncias muito elevadas, e na presença de nevoeiro ou precipitação, o que requer uma fonte de alimentação significativa. Se o sinal tem comprimentos de onda na gama do visível, o que inclui comprimentos de onda entre 0,3 e 1 µm, as ondas são criadas com sistemas ópticos específicos e refletidas com espelhos simples ou prismas. Por razões de ordem prática, verifica-se, portanto, a necessidade de emitir ondas muito curtas desde os poucos centímetros nos MDM até aos décimos de mícron nos EODM. Esta necessidade, no entanto, não é conciliável com a necessidade de se emitir ondas com comprimentos na ordem dos metros para determinar o valor da distância com a precisão requerida ou ondas de alguns quilómetros para determinar o primeiro valor aproximado.

Estas duas exigências são satisfeitas mediante recurso à frequência modulada no MDM ou à modulação em amplitude nos EODM.

Nos EODM, o comprimento de onda da portadora do sinal é constante e assume valores da ordem de poucos mícrones (o que satisfaz o primeiro requisito), enquanto o comprimento de onda modulado assume valores variando de poucos metros a alguns quilómetros (o que satisfaz o segundo requisito).

5.2.2. Medição Electrónica da Distância por impulsos

O princípio de funcionamento dos EDM recentemente introduzidos nos levantamentos topográficos baseia-se na medição do tempo que um impulso eletromagnético demora para ir desde o distanciómetro ao refletor e voltar.

O mesmo princípio é usado, por exemplo, por um determinado sistema para determinação da altimetria por satélite, denominado SLR (*Satellite Laser Ranging*), no qual um impulso laser é refletido de volta por um satélite artificial refletor. A evolução dos sistemas eletrónicos permitiu a implementação desses métodos nos EDM topográficos, obtendo desempenhos superiores aos dos EDM que determinam a distância através da fase.

Um diôdo transmissor de feixes de luz laser é excitado num curto intervalo de tempo. A medição exata do tempo "**t**" entre a transmissão do impulso e a sua recepção seguinte seria suficiente para determinar a distância:

$$d = \frac{vt}{2} \qquad \textbf{(2.61)}$$

No entanto, a medição do tempo é feita com alguns erros. Um intervalo de tempo de 10^{-8} segundos (típico de um relógio de quartzo) é suficiente para o impulso percorrer 3 metros, o que não é aceitável para um EDM. Por isso, é necessário um refinamento na medição do tempo, obtido por determinação da fração do período de oscilação do relógio desde a emissão do impulso até à sua recepção:

$$t = nT + t_A - t_B \qquad \textbf{(2.62)}$$

onde **T** é o período do relógio, **n** é o número de períodos e, portanto, ***n*T** é a medição diretamente realizada pelo relógio. $\mathbf{t_A}$ é o tempo entre a transmissão do sinal e o início da oscilação do relógio e $\mathbf{t_B}$ é o tempo gasto desde a recepção do sinal até à conclusão da oscilação do relógio. Para determinar estas duas frações de tempo, a voltagem com que o diôdo laser é excitado é gradualmente fornecida de uma forma linear e, então, por determinação da voltagem $\mathbf{V_T}$, que seria utilizada para uma oscilação completa do relógio, as duas frações $\mathbf{t_A}$ e $\mathbf{t_B}$ podem ser calculadas com uma proporção simples:

$$t_A:V_A = t_B:V_A = T:V_T \qquad \textbf{(2.63)}$$

onde $\mathbf{V_A}$ e $\mathbf{V_B}$ são as voltagens respectivamente aplicadas ao diôdo nos instantes $\mathbf{t_A}$ e $\mathbf{t_B}$.

Em teoria, seria suficiente apenas um único impulso para determinar a distância. Na prática, milhares de impulsos são transmitidos para aumentar a precisão. Alguns sistemas EDM transmitem até 2000 impulsos por segundo, demorando 0,8s (1600 impulsos) para atingir um padrão de erro de 5mm + 1mm/km e 3 s (6000 impulsos) para obter um padrão de erro de 3 mm + 1mm/km.

As inúmeras vantagens deste método em comparação com o da medição através da fase são evidentes:

a) Requer menos tempo para efetuar as medições. Após alguns impulsos (poucos milissegundos) é obtida uma precisão centimétrica na medição da distância, enquanto os EDM que utilizam a fase geralmente necessitam de alguns segundos. A capacidade de realizar medições muito rapidamente é útil quando se determina a distância a um ponto móvel (e, portanto, nos levantamentos batimétricos);

b) O sinal refletido também poderá ser recebido com uma potência mais fraca, pois uma pequena voltagem é suficiente para parar o relógio e concluir o cálculo do tempo do percurso relevante. Isto permite incrementos notáveis no alcance dos distanciómetros para intensidades equivalentes do sinal transmitido. Em termos de fornecimento de energia, a transmissão dos impulsos é mais económica do que uma transmissão contínua da portadora do sinal (maior autonomia de bateria);

c) É possível criar EDM que não precisam de refletores para produzir um sinal de retorno. Estes equipamentos têm alcances fortemente influenciados pela qualidade e pela cor da superfície refletora, não funcionando para distâncias superiores a 200-300 metros, podendo atingir precisões de 5-10 mm. São muito úteis para a medição de distâncias a pontos inacessíveis;

d) A qualidade da medição não é muito influenciada pelos fatores ambientais (temperatura, pressão e umidade) como no caso dos EDM que determinam a distância através da fase.

Para além dessas vantagens, tem que ser considerado o custo geralmente mais elevado dos EDM de impulsos que provavelmente apenas é justificável nos casos em que é necessário medir frequentemente distâncias superiores a 1 km.

5.2.3. Precisão e alcance dos EDM

Geralmente, os EODM (Distanciamentos electro-ópticos) utilizam ondas infravermelhas, ondas raramente incluídas no espectro visível (com comprimentos de onda da ordem de 1-5 micrómetros), ou ondas laser. Nestes equipamentos o refletor é passivo, sendo constituído por um ou mais prismas que refletem o sinal paralelo ao raio incidente. O aumento do número de prismas do refletor aumenta o alcance correspondente, que pode chegar aos 4 ou 5 quilómetros.

A precisão dos EDM que emitem ondas completas depende de inúmeros fatores tendo, atualmente, atingido níveis comparáveis aos obtidos com a utilização de fios de INVAR.

Um elemento importante do EDM é o seu oscilador, dependendo da sua estabilidade a precisão do equipamento. De fato, a frequência do oscilador é função da temperatura. A razão da variação da frequência com a variação da temperatura deve ser memorizada no EDM, para que possam ser aplicadas as devidas correções que podem atingir 3-5 ppm para 20°C de variação da temperatura.

É necessário considerar a refração atmosférica que influencia diretamente o comprimento do trajeto a percorrer pelos sinais transmitidos. O efeito da refração depende dos valores da temperatura e da pressão atmosférica que têm de ser inseridos no sistema que, em seguida calcula, de acordo com uma fórmula empírica, as correções a serem aplicadas em ppm á distância medida. Noutros casos, os fabricantes fornecem tabelas através das quais podem ser diretamente determinadas as correções a aplicar ás distâncias, conhecendo os valores de temperatura e pressão. É útil recordar que, numa primeira aproximação, uma correção de 1 ppm pode resultar de uma variação de 1°C de temperatura, de 3,5 hectopascais de pressão atmosférica ou de 25 hectopascais da pressão parcial da umidade do ar.

O envelhecimento do equipamento provoca uma variação da frequência nominal do oscilador, que podem atingir valores de alguns ppm após 2-3 anos de vida. É portanto necessário calibrar periodicamente os sistemas.

Finalmente, para determinar a distância, é necessário considerar a constante do instrumento, determinando a constante do prisma, porque, geralmente o centro da superfície refletora do prisma não é coincidente com o centro do refletor. Essa constante é provocada pelos refletores e tem que ser memorizada no EDM para cada combinação de prismas utilizada.

Na medida em que afeta toda a gama de EDM, para além de ser uma característica deste tipo de sistema, também depende das condições atmosféricas e do número de prismas usado. Como foi referido anteriormente, com a mesma potência, os EDM de impulsos têm maiores alcances do que as da medição por fase, podendo alcançar, em condições atmosféricas ótimas, distâncias de 15 quilómetros.

Deve notar-se que as condições atmosféricas são consideradas:

a) Desfavoráveis: neblina intensa ou sol intenso com uma forte refração;

b) Médias: neblina pouco intensa ou sol encoberto;

c) Boas: sem neblina e com céu coberto.

É evidente, portanto, que a precisão nominal declarada pelos construtores do EDM é apenas alcançável se todos os fatores que podem influenciar as medições forem considerados. Em geral EDM que utilizem a fase permitem a obtenção de precisões, sem cuidados especiais, da ordem dos **σ = 5 mm + 5ppm**

5.2.4. Estações Totais

A junção de um EDM e de um teodolito eletrónico pode ser extremamente produtiva, pois é possível integrar os dados provenientes do distanciómetro com as medições angulares obtidas com o teodolito. Assim, é possível de imediato calcular outras quantidades, obtidas indiretamente, como as distâncias horizontais ou as coordenadas retangulares, etc.

O conjunto teodolito – EDM é chamado Estação Total ou estação integrada, pois permite singularmente obter todas as medições para levantamentos topográficos como sejam ângulos, distâncias, coordenadas, etc.

Os dados dos levantamentos podem ser registados num "caderno de campo", mas devido à sua natureza digital, podem ser armazenados em suporte magnético ou em memórias sólidas. Assim, os possíveis erros de transcrição do operador são evitados e as operações de medição são mais rápidas.

O princípio inspirador destes sistemas é o de automatizar as operações dos levantamentos topográficos mais repetitivas, tais como as leituras das distâncias e dos ângulos, o registo de dados e a inserção dos dados de configuração da estação, etc.

5.3. Instrumentos ópticos

5.3.1. Sextante (Círculo hidrográfico)

O círculo hidrográfico é um instrumento construído especificamente para a medida dos ângulos horizontais entre dois objetos. A precisão na medição de ângulos varia entre 20" e 10'.

É um sistema de reflexão e a medição dos ângulos é baseada, tal como no caso do sextante, na teoria da óptica da dupla reflexão de um raio luminoso, com a diferença de que, no círculo, são utilizados prismas em vez de espelhos.

Dois prismas ficam num dos lados, o maior no centro da estrutura circular provida de uma pega. O prisma do centro é móvel e tem duas partes, que separam os raios luminosos incidentes no prisma dos que são refletidos pela hipotenusa do prisma. O outro prisma é fixo e está colocado com um determinado afastamento em relação ao plano da estrutura, de forma a cobrir apenas a metade interior do campo de visão da luneta.

A luneta é fixa, estando colocada de forma a que as imagens diretas dos objetos aparecem na parte superior do seu campo de visão e na metade inferior as refletidas pelo prisma pequeno. Na estrutura encontra-se um círculo graduado, fixo ao prisma grande que, gira em relação a um índice marcado na estrutura.

Para permitir que o equipamento funcione corretamente, é necessário que as duas condições de operação fundamentais de goniómetros de dupla reflexão sejam respeitados, isto é, no caso dos prismas, eles devem ser exatamente perpendiculares ao plano da estrutura do instrumento e, quando as duas hipotenusa estão paralelas, o índice deve marcar 0° na escala graduada do nónio.

O prisma grande não deve poder mexer-se, a não ser num movimento de rotação em torno do eixo fixo, que é por construção perpendicular à estrutura. A perpendicularidade do prisma pequeno em relação à estrutura pode ser ajustado através de um parafuso de ajuste. Ajustando o índice a 0º na escala graduada do nónio, se um objeto distante for observado através da luneta, e as duas partes

da imagem forem vistas perfeitamente alinhadas na vertical, a direta em acima e a refletida na parte de baixo, tal indica que o instrumento está perfeitamente retificado.

O paralelismo entre as hipotenusas dos prismas pode ser corrigido através de um parafuso especial de ajuste que faz o prisma pequeno rodar em torno do eixo normal ao plano da estrutura.

5.3.2. Teodolitos

O teodolito é um instrumento que mede ângulos azimutais, através de um limbo graduado horizontal, e ângulos zenitais, através de um limbo graduado vertical.

A precisão dos teodolitos na medição de ângulos varia entre 0,1” a 10”; os Taqueómetro diferenciam-se dos teodolitos, devido à menor precisão que permitem nas medições angulares, entre 10” e 10’.

Num teodolito podem ser identificados três eixos:

a) O eixo principal, em torno do qual gira a alidade;

b) O eixo secundário, em torno da qual gira a luneta;

c) O eixo de colimação da luneta.

As partes principais de um teodolito são:

a) A base, que tem um pedestal com três parafusos (parafusos de nivelamento) sobre o prato da base, que é a parte inferior do teodolito e que se assenta e se liga ao topo do tripé, por forma a ser possível, dentro de certos limites, centrar o instrumento com a marca de referência. O nível de bolha de ar inferior ou nível esférico (também denominado nível universal ou nível de olho de boi) e a guia da óptica estão ligados à base.

b) A alidade é uma armação geralmente em forma de U, que pode girar em torno do eixo vertical passando através do centro do instrumento (eixo primário) e que contém o índice do limbo graduado horizontal. Um nível de bolha de ar superior (nível mais sensível) está solidário à alidade servindo para verticalizar o eixo principal e para definir a origem dos ângulos zenitais no zénite, se não houver erros residuais.

c) O limbo graduado horizontal situa-se acima do pedestal e por baixo da alidade.

d) A luneta é ligada à alidade de modo que seu eixo de colimação é perpendicular ao eixo de rotação. A luneta tem uma ampliação de 28 a 45 vezes, aumentando assim a precisão das medições.

e) O limbo graduado vertical é ligado rigidamente à luneta, para permitir a leitura dos ângulos zenitais.

Os teodolitos podem ser de dois tipos, dependendo do sistema de bloqueio utilizado para o limbo graduado horizontal: de repetição ou reiteração.

a) Os teodolitos de repetição (fig. 2.20) são aqueles que permitem a fixação do limbo graduado horizontal, tanto à base como à alidade através de dois parafusos separados. Quando ambos os parafusos de travamento estão apertados, o limbo graduado horizontal fica fixo, tanto ao pedestal como à alidade, de forma que não permite ao instrumento girar em torno do eixo principal.

b) Nos teodolitos de reiteração (fig. 2.20), o limbo graduado horizontal permanece independente da base e da alidade; pode rodar com a base através de um parafuso especial, normalmente protegidos contra movimentos acidentais. A alidade fica bloqueada com o pedestal através de um parafuso de travamento, tendo um parafuso para pequenos movimentos.

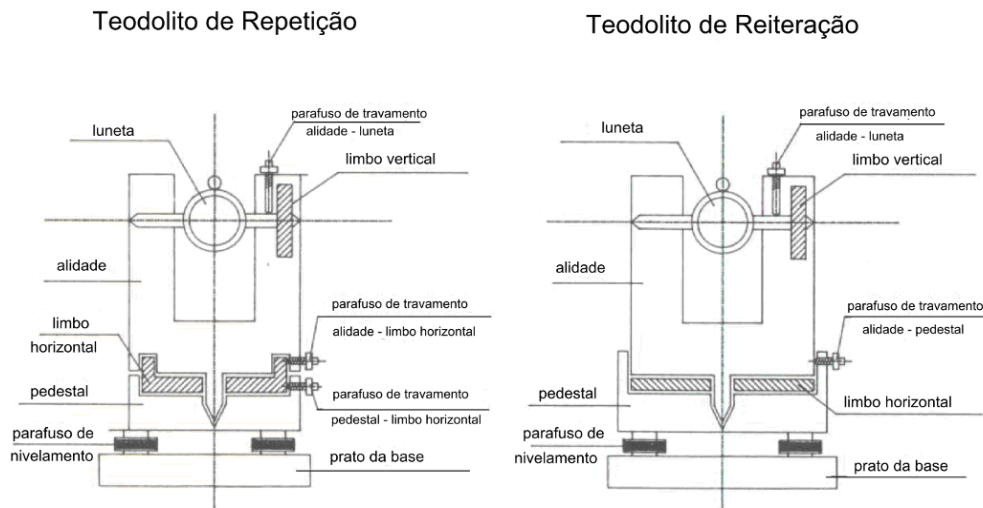



Figura 2.20 "Teodolitos"

Antes de realizar qualquer medição angular, é essencial verificar se entre os principais eixos (primário, secundário e de colimação) e outras partes do instrumento algumas condições de precisão estão satisfeitas. Algumas delas são verificadas diretamente pelo construtor do instrumento, condições de construção e que, se o instrumento for utilizado com cuidado, podem ser consideradas inalteradas e, portanto, mantidas.

Algumas condições, denominadas condições de retificação, devem ser verificadas diretamente pelo operador antes de iniciar cada sessão de medições. Uma delas em particular consiste no estabelecimento da verticalidade do eixo principal, o que é conseguido através do nível de bolha de ar superior que é mais sensível que o esférico usado para a centralização do eixo principal do instrumento sobre a marca de referência. Para usar o nível de bolha de ar superior a alidade tem que ser rodada até que o nível fique alinhado com a direção de dois parafusos de nivelamento que devem ser ajustados até centrar a bolha. O nivelamento nesta direção está correto, quando a bolha de ar ao girar a alidade 180°, continua centrada. Se isto não acontecer será necessário utilizar o parafuso de retificação e ajustar os dois parafusos de nivelamento. Como última etapa para corrigir o nivelamento, a alidade deve ser rodada de 90° e usado o terceiro parafuso de nivelamento para centrar a bolha do nível de bolha de ar superior.

O outro ajustamento, normalmente apenas necessário quando há uma mudança de observador, consiste em assegurar que a luneta está focada corretamente. Isto é conseguido utilizando o anel de focagem da luneta para garantir que as linhas do retículo (ou retículos) aparecem claras e nítidas.

5.3.3. Instrumentos de nivelamento (Níveis) e Estádias

Os instrumentos de nivelamento (ou níveis) são instrumentos que permitem a criação de um eixo horizontal de colimação e são utilizados no nivelamento geométrico. Os níveis modernos são divididos em:

a) Níveis fixos e Níveis de auto-nivelamento;

b) Níveis digitais;

c) Níveis de laser.

Tendo escolhido o tipo de nível, e assim definido o mecanismo de leitura, é necessário escolher a mira ou estádia, cujo princípio de graduação vai permitira as leituras pelo nível. Os níveis de luneta fixa ou basculante foram tornados obsoletos pelos modernos níveis digitais e de laser.

5.3.3.1. Nível de luneta fixa

Consistem numa luneta que forma uma unidade única com o eixo de rotação e a sua base, semelhante ao de um teodolito. Um nível de bolha de ar está fixo ao telescópio, o que permite que o instrumento possa ser nivelado na posição, de forma semelhante a um teodolito. Assim que o nível de bolha de ar está centrado para duas direções ortogonais, o nível pode ser utilizado para determinar a diferença de elevação em qualquer direção.

Uma condição que deve ser periodicamente controlada, é que o eixo do nível bolha de ar é paralelo ao eixo de colimação. Para verificar o instrumento, tudo o que é necessário é medir uma diferença de nível já conhecida entre dois pontos, com o nível no meio e deslocar o retículo da luneta ajustando o parafuso de ajuste até que a leitura nas miras seja correta.

5.3.3.2. Nível de luneta fixa com Parafuso de Elevação

Nestes níveis, a luneta não está ligada rigidamente ao eixo de rotação, sendo a ligação realizada através de uma dobradiça cruzada numa extremidade e na outra por um parafuso de elevação (ou parafuso micrómetro). O parafuso de elevação permite à luneta efetuar uma rotação num ângulo vertical muito pequeno; o que permite obter visadas horizontais, mesmo se o eixo principal não estiver vertical. Estes níveis têm um nível de bolha de ar esférico na base, o qual, quando centrado, faz com que o eixo principal fique aproximadamente vertical. Para cada visada, é necessário utilizar o parafuso de elevação até o nível de bolha de ar ligado á luneta ficar centrado, e o eixo de colimação horizontal.

5.3.3.3. Nível de luneta Rotativa (Y - Nível)

Nestes níveis, a luneta pode girar através de um ângulo vertical (180°) dentro de estrutura em Y solidamente ligado ao eixo de rotação com 2 anéis nas extremidades para encaixar a luneta. Preso à luneta está um nível de bolha de ar reversível com uma curvatura dupla, o que lhe permite funcionar também na posição invertida. Nestes instrumentos, há portanto, dois eixos: o eixo de rotação da luneta (que coincide com o eixo da estrutura) e o eixo de colimação. No pressuposto de que os dois eixos dos níveis são paralelos e que o eixo estrutura coincide com o eixo de colimação, duas leituras são feitas na mira, correspondentes às duas posições extremas que a luneta pode assumir, centrando em cada vez o nível de bolha de ar com o parafuso de elevação.

Usando a média aritmética das duas leituras, qualquer erro entre o eixo do nível e o eixo de colimação é compensado, uma vez que o erro é de sinal oposto nas duas leituras obtidas.

5.3.3.4. Nível de Auto-alinhamento

Nestes instrumentos o eixo de colimação é automaticamente ajustado na horizontal por um sistema interno, independentemente da verticalidade do eixo principal. Uma vez que tais sistemas, denominado compensadores, funcionam dentro de certos limites de rotação do telescópio, da ordem dos 10’, os níveis de auto-alinhamento são equipados com um nível de bolha de ar circular, que estando a bolha centrada, garante o correto funcionamento do instrumento. Os compensadores de diferentes fabricantes são diferentes, mas normalmente são constituídos por um elemento prismático sensível suspenso por um pêndulo, que utiliza o princípio de que a força da gravidade irá criar uma linha de visada horizontal.

5.3.3.5. Nível Digital

Estes níveis são similares aos níveis de auto-alinhamento, mas a leitura na mira é feita automaticamente. Porém, é possível a realização de leituras ópticas tradicionais, em caso de avaria dos componentes eletrónicos ou do esgotamento da carga das pilhas.

As miras utilizadas com este tipo de níveis são específicas, de um lado eles têm uma graduação normal como as estádias, do outro lado têm uma graduação de código de barras. A imagem do código de barras da mira é transmitida separadamente para a visada ocular para permitir a leitura da mira e para um sistema eletrónico. O sinal digital é descodificado por um microprocessador capaz de determinar, além da diferença de cotas, a distância horizontal entre os dois pontos.

As vantagens introduzidas por estes sistemas provêm da capacidade de gravar automaticamente os dados do levantamento, com uma considerável poupança de tempo e com a eliminação total dos erros cometidos durante a transcrição. O correto funcionamento é garantido apenas sob boas condições luminosas, isto é, as medições devem ser realizadas ao ar livre. A precisão desses níveis é de 0,1 mm para a diferença de cotas e de 1 cm para as distâncias.

5.3.3.6. Nível Laser

Estes níveis utilizam a transmissão de um raio laser, que corresponde à linha de visada da luneta. Alguns destes instrumentos, que são normalmente níveis de auto-alinhamento, não requerem a intervenção do operador. Uma vez o equipamento colocado em estação com o auxílio de um nível de bolha de ar circular, um motor faz com que o raio laser rode continuamente, através de um prisma interruptor. Desta forma apenas um único operador é necessário para executar um nivelamento dentro de um campo com 200-300 m de raio.

As miras usadas para estes níveis têm um sensor, com o comprimento de alguns decímetros, que pode mover-se sobre a mira. Quando o raio laser atinge o sensor, o valor correspondente ao raio pode ser lido e gravado automaticamente.

A precisão das medições pode ser inferior a um milímetro, sendo o sistema ideal para um nivelamento radial.

6. MÉTODOS DE POSICIONAMENTO (TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO)

6.1. GNSS (GPS)

6.1.1. Descrição do Sistema de Posicionamento Global (GPS)

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema de posicionamento absoluto a 3 dimensões, baseado em satélites que integram uma constelação artificial mundial e que orbitam em torno da terra, enviando sinais rádio para os receptores em tempo real, independentemente das condições atmosféricas e 24 horas por dia. O nome completo do sistema é *NAVigation Satellite And Ranging Global Positioning System* cuja abreviatura é NAVSTAR GPS. O sistema foi criado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América e é atualmente administrado em colaboração com o Departamento de Comércio, tendo sido projetado de forma a permitir que a qualquer momento em qualquer parte do mundo se obtenha o posicionamento a 3 dimensões de objetos, mesmo estando em movimento.

O sistema divide-se em:

a) O segmento espacial: que é constituído por um mínimo de 24 satélites, embora estejam disponíveis mais, que descrevem órbitas quase circulares em redor da Terra, a uma altitude de cerca de 20200 km. Os satélites estão distribuídos em 6 planos orbitais com 4 satélites cada, inclinados 55º em relação ao plano equatorial terrestre com um período de revolução de cerca de 12 horas siderais. A distribuição da constelação assegura a

visibilidade de pelo menos 4 satélites (frequentemente entre 6 a 8) em qualquer ponto do globo e em qualquer instante com uma elevação acima do horizonte superior a 15° graus, o que é fundamental para o posicionamento.

Os satélites têm as seguintes funções:

- Transmitir a informação aos utilizadores através de sinais rádio;
- Manter um tempo de referência exato devido à elevada exatidão (de 10^{-12} para 10^{-14} segundos) proporcionada pelos relógios atómicos de césio e rubídio que existem a bordo dos satélites;
- Receber e armazenar a informação enviada pelo segmento de controlo;
- Efetuar correções às orbitas dos satélites.

Existem diferentes gerações de satélites, os primeiros foram lançados em 1978, tendo sido progressivamente substituídos por modelos mais avançados.

b) Segmento de controlo: que inclui 5 estações de monitorização e uma sexta adicional em Sunnyvale nos E.U.A. onde uma cópia de toda a informação e de todas as operações efetuadas são preservadas. As cinco estações de rastreio têm estações meteorológicas que permitem avaliar o efeito da troposfera nos sinais rádio transmitidos pelos satélites. Existem três estações, designadas por estações monitoras (Ascensão, Diego Garcia e Kwajalein) que têm a capacidade de enviar mensagens aos satélites e existe uma estação de controlo principal (Colorado Springs, EUA) denominada estação *master*, onde são efetuados os cálculos necessários para gerar as efemérides dos satélites a determinação das novas órbitas. Em resumo as tarefas do segmento de controlo são:

- Efetuar seguimento contínuo dos satélites e processar os dados recebidos de forma a calcular as efemérides (tempo e posição);
- Conferir o estado geral do sistema, em particular os relógios dos satélites;
- Implementar as correções orbitais;
- Carregar os novos dados nos satélites, inclusivamente as efemérides para as próximas 12 a 24 horas, as quais são posteriormente transmitidas para os utilizadores.

c) Segmento do utilizador: que compreende todos os utilizadores equipados de receptores com antenas GPS. Estes fazem parte de um sistema passivo pois recebem dados sem emitir nenhum sinal. Existem vários tipos de receptores, dependendo do tipo de estratégia usada na análise do sinal recebido e da exatidão posicional requerida.

d) Estrutura do sinal: Cada satélite emite continuamente ondas eletromagnéticas em frequências específicas para um determinado sector na superfície da terra e fá-lo de forma a evitar interferências. As ondas transportam a informação para o utilizador através da modulação do código. Os relógios de bordo produzem uma frequência fundamental f0=10,23 MHz, e a partir desta frequência primária são originadas as três partes fundamentais do sinal GPS:

- Componente da onda da portadora - É constituída por duas ondas sinusoidais chamadas L1 e L2 respectivamente de frequência 154 x f0 = 1575,42MHz ($\lambda L1 \approx 19$ cm) e 120 x f0 = 1227,60 MHz ($\lambda L2 \approx 24$ cm).

- Componente do código - Inclui dois códigos, denominados aquisição livre (C/A - *Coarse Acquisition*) e o código preciso (P – *Precision*). O código C/A só se encontra modulado na frequência L1 e o código P encontra-se modulado em ambas as frequências L1 e L2.

- Os códigos são ondas quadráticas, produzidas por um algoritmo simples, que permite criar um sinal modulado em fase e retificado com valores -1 e +1 para amplitude e distribuídos aleatoriamente. Estes códigos têm características de ruído pseudo-aleatório PRN (*Pseudo Random Noise*). O código C/A é modulado na frequência 1,023 MHz (C/A≈300m) e o código P é modulado na frequência de 1 x f0 = 10,23 MHz (P≈30 m). O código C/A está disponível para uso civil, enquanto o Código de P é reservado o uso a militares e outros utilizadores autorizados. O Departamento de Defesa dos E.U.A. tem reservado o direito para disfarçar o código P com o recurso à criptografia e usando o procedimento denominado *Anti- Spoofing* (A.S). O código de P codificado é chamado código Y.

- Componente da mensagem de navegação - É composta pela mensagem de navegação (código D) que tem uma frequência de f0/204800 = 50 Hz. Esta contém as informações relativas às efemérides, aos relógios dos satélites, ao estado de saúde dos satélites e outros dados relevantes.

6.1.2. Métodos de posicionamento

O sistema de posicionamento GPS utiliza o método de intersecção espacial das observações de distância dos satélites aos receptores. O sistema de referência geodésico (Datum) utilizado é o *World Geodetic System* 1984 (WGS84), o qual se baseia num eixo Cartesiano, com rotação positiva no sentido dos ponteiros dos relógios e origem no centro de massa da Terra, ao qual o elipsóide geocêntrico WGS84 é associado. As coordenadas de um ponto à superfície da terra são determinadas pela intersecção das linhas de posição entre o centro de fase da antena ligado a um receptor e os satélites, desde que se tenha um número suficiente de linhas de posição. Como as coordenadas dos satélites são conhecidas no sistema de referência, as coordenadas desconhecidas estão correlacionadas em virtude de serem determinadas através da intersecção das linhas de posição entre os satélites e o centro de fase da antena. Essencialmente existem três métodos de posicionamento:

a) Posicionamento absoluto (ou normal);

b) Posicionamento relativo;

c) Posicionamento diferencial.

6.1.2.1. Posicionamento absoluto

O objetivo fundamental deste método é a determinação das coordenadas no sistema WGS84. A sua determinação é efetuada pela utilização do código do sinal (código C/A e P se disponível) ou analisando as duas fases da onda portadora L1 e L2.

No primeiro caso, a distância entre o satélite e o receptor é determinada através da diferença entre o tempo de recepção e o tempo de emissão de um dado sinal (os códigos) e são chamadas “pseudo-distâncias”. Este tempo é medido pelo receptor através da correlação entre o sinal recebido e uma cópia desse sinal produzida pelo receptor; a réplica gerada pelo receptor é deslocada de forma a alinhar com o sinal do satélite. As pseudo-distâncias são afetadas pela falta de sincronismo entre o relógio do satélite e o relógio do receptor e pela deriva do relógio do receptor que é menos exato que o relógio atómico dos satélites.

Na medição do tempo de transmissão estes fatores não podem ser ignorados, e por essa razão é que para a determinação das 3 quantidades desconhecidas do posicionamento derivadas do relógio (transformar Coordenadas Cartesianas x, y, z em φ, λ e altitude em relação ao elipsóide WGS84) se soma uma quarta quantidade que identifica os erros de relógio do receptor. Desta forma existe a necessidade de se observar simultaneamente pelo menos quatro satélites para obter uma posição absoluta em tempo real.

No segundo caso é analisada a fase da onda da portadora das duas frequências e a distância entre o satélite e o receptor pode ser obtida comparando a fase do sinal da portadora no momento de recepção com uma cópia gerada internamente pelo receptor. Neste caso é adicionada uma incógnita para qualquer satélite observado, esta incógnita denomina-se Ambiguidade Inteira Inicial, que corresponde ao número inteiro de ciclos desde que o sinal deixa o satélite e o instante em que o receptor inicia a medição. Em virtude das distâncias aos satélites variarem, sempre que um satélite é observado pela primeira vez é necessário resolver a nova ambiguidade. Como resultado, o posicionamento absoluto em tempo real com medições de fase só é possível se as Ambiguidades Iniciais dos satélites observados forem determinadas, o procedimento da sua determinação é chamado inicialização.

6.1.2.2. Posicionamento relativo

O objetivo do posicionamento relativo é a determinação do vetor da linha-base ou dos vetores das componentes que ligam as duas posições onde se localizam temporariamente os dois receptores. Se as coordenadas absolutas de um dos pontos forem conhecidas, as coordenadas do outro ponto podem ser determinadas pela soma dos componentes vetoriais da linha base. O posicionamento pode ser obtido através de medições de fase ou do código, apesar de na prática só se utilizar as medições da fase. Para cada época e para cada satélite observado pode ser escrita uma equação de observação de fase. Efetuando observações simultâneas de fase para um satélite com dois receptores diferentes, numa linha base e diferenciando as duas equações individuais obtemos duas equações de fase e uma equação de diferenças simples. Inserindo na observação outro satélite e adicionando as diferenças entre as duas equações às diferenças simples, obtemos umas equação de diferenças duplas. Com estas duas operações eliminaram-se os erros dos relógios dos dois satélites. Neste momento as incógnitas a serem determinadas são as componentes vetoriais da linha base e a soma das quatro ambiguidades iniciais dos dois satélites (considerando o valor da ambiguidade um número inteiro). Se por alguma razão o sinal for perdido as ambiguidades mudam e será necessário efetuar uma nova inicialização. Finalmente as possíveis interrupções do sinal podem ser separadas pela diferença entre duas equações de diferenças duplas (dando origem a uma equação de diferenças triplas) o que estabelece a continuidade, pois a ambiguidade desconhecida é eliminada.

6.1.2.3. Posicionamento diferencial

O posicionamento diferencial é semelhante ao posicionamento absoluto, mas as correções de pseudo-distância são transmitidas ou armazenadas, em tempo real ou com atraso pelos receptores que se encontram localizados em pontos de coordenadas conhecidas. O receptor móvel (*rover*) aplica, em tempo real ou com atraso, as correções de pseudo-distância ou da fase observadas e calcula a sua posição absoluta, melhorando desta forma a exatidão das suas coordenadas.

6.1.3. Desempenho e fontes de erro do sistema

Em relação aos diferentes princípios de posicionamento, eles podem ser classificados pelos diferentes graus de exatidão:

a) Absoluto (SPS) com medições do código C/A na L1: 10 a 30 metros.

b) Absoluto (PPS) com medições do código P (Y) na L1/L2: 5 a 15 metros

c) Relativo com medições em modo estático: 10^{-8} a 10^{-6} da linha base

d) Relativo com medições da fase (RTK): decímetro

e) Diferencial com medições da fase de código (DGPS): poucos metros

f) Diferencial com medições da fase da portadora (RTK DGPS): poucos centímetros

As fontes de erro que mais influenciam o desempenho do sistema são:

a) *Erros dos relógios* dos satélites e dos receptores (*offsets* e deriva);

b) *Erros na determinação das órbitas* (imperfeições nos dados das Efemérides);

c) *Atrasos* durante a propagação do sinal na atmosfera do sinal pela atmosfera devidos à refração ionosférica e troposférica, cujo efeitos no sinal são consideráveis devido ao uso de receptores de duas frequências;

d) *Erro troposférico*. A umidade está incluída neste erro. A umidade pode atrasar o sinal aproximadamente 3 m. O sinal transmitido proveniente dos satélites que se encontrem perto do horizonte atravessa uma maior extensão da troposfera, enquanto que o sinal dos satélites situados nas proximidades do zénite atravessa uma menor extensão da troposfera. Atribuindo um ângulo de elevação em relação ao horizonte superior a 15º pode minimizar o erro troposférico. Se esta operação impossibilitar a observação de um elevado número de satélites, pode ser necessário adotar um ângulo de elevação ao horizonte de 10º. Os fabricantes de software utilizam modelos para tratar o atraso troposférico tendo-se verificado através de testes que os modelos são adequados.

e) *Erro ionosférico*. As manchas solares e outros fenómenos eletromagnéticos podem causar erros na medição das pseudo-distâncias entre 30 m durante o dia e 6 m à noite. Esses erros não são previsíveis mas podem ser estimados. Assume-se que o erro ionosférico é o mesmo na estação de referência e no móvel (*rover*). Este pressuposto é a base para as redes GPS onde as estações estão separadas por apenas algumas milhas náuticas. Para receptores de duas frequências foram implementados modelos ionosféricos.

f) *Multi-trajecto*. O multi-trajecto é a recepção de um sinal refletido em detrimento de um sinal direto. A reflexão pode ocorrer abaixo ou acima da antena. A magnitude do multi-trajecto é menor na água do que em terra, mas está sempre presente e o seu valor é variável. O posicionamento da antena do receptor GPS deve ser efetuada de forma a evitar áreas onde seja mais provável acontecer o multi-trajecto (i.e. afloramentos de pedra, telhados de metal, aparelhos de aquecimento/ar condicionado montados nos telhados, edifícios, carros, navios, etc.). Um dos métodos de reduzir o multi-trajecto na estação de referência é aumentar a altura da antena. A duração do multi-trajecto pode ser de vários minutos. Eliminar observações de satélites que se encontram abaixo de 15º reduz a ocorrência de multi-trajecto.

g) *A configuração geométrica* dos satélites usados para o posicionamento, o qual é dado pelo GDOP (*Geometrical Dilution of Precision*). O GDOP para este propósito é dividido em alguns componentes (PDOP e TDOP) os quais foram introduzidos de forma a estabelecer um determinado grau de controlo da qualidade. O mais genérico é denominado PDOP (*Position Dilution of Precision*), que é inversamente proporcional à melhor configuração. Este é dividido em duas componentes para propósitos de controlo: a componente vertical VDOP (*Vertical Dilution of Precision*) e a componente mais utilizada o HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*). Ocasionalmente o rácio entre HDOP/PDOP é utilizado (para controlo horizontal ver capítulo 7).

h) *Erros induzidos*, são erros introduzidos nos dados dos satélites de forma a reduzir o desempenho da medição das pseudo-distância, podendo ser introduzidos à discrição pelos administradores do sistema. Tal procedimento, chamado *Selective Availability* (S/A), produzia uma incerteza no posicionamento no cálculo da pseudo-distância na ordem dos 100 metros, este procedimento foi cancelado em 1 de Maio de 2000. A utilização do método diferencial podia eliminar a S/A. Mesmo com o cancelamento da S/A a utilização do DGPS é requerida para a maior parte das aplicações nos levantamentos hidrográficos.

6.1.4. Observações GPS e técnicas de aquisição do sinal.

6.1.4.1. Técnicas de observação

Para a determinação da distância entre um satélite NAVSTAR GPS e uma antena receptora são basicamente usados dois métodos. Estas medições são efetuadas através de técnicas de comparação da fase do sinal do satélite. A fase da onda portadora e a fase do código digital modulado são observados de forma a calcular a distância entre o satélite e o receptor. A exatidão no posicionamento do receptor vai depender do método de observação utilizado.

Os dois métodos de observação são:

- Utilização da fase da onda portadora.

- Utilização do código.

Os satélites GPS atualmente transmitem em duas frequências: L1 a 1575,42 MHz (19 cm de comprimento de onda) e L2 a 1227,60 MHz (24 cm de comprimento de onda). Modulados nestas frequências estão o código de livre aquisição (C/A) (300 m de comprimento de onda) e o código preciso (P) (30 m de comprimento de onda). Adicionalmente, é transmitida uma mensagem de navegação com 50 bps por satélite contendo as efemérides dos satélites e o estado de saúde de cada satélite. Os códigos C/A e P estão ambos presentes na frequência L1. Na frequência L2 só está presente o código P. A frequência mais alta do sinal da portadora (na banda L) tem um comprimento de onda de 19 e 24 cm da qual uma distância pode ser solucionada com software em pós-processamento com uma exatidão na ordem dos 2 mm. O código modulado tem um comprimento de onda de 300 m e uma exatidão na ordem de 1 m. Ambas as técnicas de observação têm aplicações nos levantamentos hidrográficos.

6.1.4.2. Técnicas de aquisição do sinal

Os procedimentos para aquisição têm características e exatidões diferentes; estas estão relacionadas com as diferentes formas de manipulação do sinal. Estas são descritas de seguida:

a) **Ponto isolado (*Stand-Alone*)**: que consiste na determinação da posição absoluta de um único ponto utilizando a pseudo-distância no sistema de referência geodésico WGS84. A exatidão absoluta, a um nível de confiança de 95%, é entre 10 e 30 metros para SPS (*Standard Positioning Service*) e entre 5 e 15 para PPS (*Precise Positioning Service*). Só é aplicado em navegação.

b) **Diferencial (DGPS)**: neste método as correções diferenciais são calculadas por uma estação de referência estacionada num ponto de coordenadas conhecidas, e são aplicadas à posição absoluta gerada por um receptor autónomo. Estas correções de código ou fase, como descritas previamente, podem ser transmitidas via rádio ou telemóvel, usando o protocolo RTCM, e aplicadas em tempo real ou armazenadas na estação de referência e aplicadas em pós-processamento utilizando software adequado. Os alcances e exatidões estão descritos na tabela seguinte:

Técnicas de observação	Distâncias entre estações	Exatidão
Código da portadora	Algumas centenas de km	Alguns metros
Fase da portadora	Cerca de 10 km	Alguns centímetros

c) **Relativo**: as coordenadas das extremidades do vetor da linha-base que liga as posições ocupadas pelas estações têm de ser determinadas. O cálculo é efetuado em pós-processamento usando as diferenças duplas, corrigindo as observações de fase adquiridas na estação de referência e no receptor móvel. Os métodos principais são:

Técnica	Aplicações
Estático	Sistemas de referência de elevada exatidão
Rápido estático	Sistemas de referência de menor exatidão
Cinemático (*Stop and Go*)	Pontos fiduciais, levantamentos detalhados
Cinemático Contínuo	Monitorização contínua das trajetórias

O tempo de aquisição e a taxa de amostragem (intervalo entre épocas) são os discriminadores nos métodos relativos. A taxa de amostragem deve ser um bom compromisso entre os requisitos das medições e o tamanho do ficheiro a processar. Por exemplo, para aplicações estáticas com períodos de aquisição longos, é comum a utilização de uma taxa de amostragem de 15 ou 30 segundos; para aplicações cinemáticas é necessário reduzir este intervalo para 1 segundo. Este valor representa para muitos receptores o valor limite da taxa de amostragem. Atualmente existem receptores com uma taxa de aquisição de 20Hz. A tabela abaixo sumariza as técnicas, métodos de aquisição e campos de utilização:

Método	Tempo de Observação	Comprimento da linha base	Exatidão	Taxa de aquisição (por seg)	Notas
Estático	>1/2 hora 1 hora varia de 3 a 4 horas	10 km 20 – 30 km >100 km	10^{-6} a 10^{-8} (comprimento da linha base)	15 - 60	Dupla frequência se utilizadas bases (20 km)
Rápido estático	20-30 min (L1s) 6-8 min (L2)	<10 – 15 km	10^{-6} (comprimento da linha base)	5 - 15	Necessidade de uma boa configuração de satélites
Cinemático (*Stop and go*)	<1 min	Alguns km <10 km	Centimétrica	1 - 5	Necessita de seguimento contínuo dos satélites Inicialização: - Até 30 mins: L1 - 5/6 mins: L1 + L2 - On the fly (OTF): L1+L2
Cinemático contínuo	Contínuo	Alguns km	Centimétrica	1 – 5 (20Hz)	O mesmo que acima

6.1.5. DGPS

O posicionamento por GPS diferencial (GPS Diferencial = DGPS) é uma técnica que utiliza dois ou mais receptores, um dos quais se encontra num ponto de referência geodésica ou topográfica (Estação de Referência) e um outro (receptor móvel) que ocupa os novos pontos a serem determinados num levantamento (parado ou em movimento). A estação de referência calcula as Correções à Pseudo-distância (*Pseudo-Range Corrections* PRC) e as suas variações no tempo Taxa de Correção às pseudo-distâncias (*Range Rate Correction* RRC). Estas as correções podem ser transmitidas em tempo real para o receptor móvel (*rover*) ou podem ser armazenadas no receptor da estação de referência e aplicadas em pós-processamento.

Quando o procedimento é executado em tempo real é estabelecida uma ligação entre estação de referência e a móvel que pode ser via rádio ou através de um modem de telefone.

Em todo caso, o receptor móvel (em tempo real) ou o receptor/PC com software de pós-processamento (atraso em tempo), aplicam as correções às medições de pseudo-distâncias e calculam as posições de cada ponto com essas correções observadas.

O posicionamento diferencial pode ser aplicado às medições de código ou fase da portadora.

6.1.5.1. DGPS com observações de código:

A partir de uma série temporal de correções de PRC, as suas variações em tempo RRC podem ser quantificadas por interpolação numérica.

A correção no código, para uma época arbitrária "**t**", pode ser calculada aproximadamente por:

$$PRC_{t}^{satel} = PRC_{t0}^{satel} + RRC_{t0}^{satel} * (t - t_0) \qquad \textbf{(2.64)}$$

onde o termo **(t - t$_0$)**, chamado latência, é determinante para a exatidão do posicionamento. Isto não é mais do que a diferença de tempo entre o cálculo de correção no receptor da estação de referência e a sua aplicação (tempo de transmissão, cálculo, etc.) no receptor da estação móvel.

Aplicando as correções nas pseudo-distâncias, os erros do relógio do satélite desaparecem nas suas equações. O possível efeito perturbador, causado pela degradação deliberada dos dados dos relógios e das órbitas pode ser virtualmente eliminado. De modo análogo, pode-se fazer o mesmo para outros efeitos perturbadores como a refração troposférica e ionosférica.

Desta forma, a posição do móvel é calculada com as correções às pseudo-distâncias do código da portadora. Estas correções podem ser transmitidas ou gravadas no formato RTCM e esta técnica é denominada RTCM *Differential* GPS.

As correções às pseudo-distâncias podem ser transmitidas ao receptor de GPS por:

- Uma Estação de Referência GPS situada temporariamente num ponto de controlo horizontal na área de sondagem ou de uma estação permanente, com um modem através de radiofrequências (UHF/VHF/HF) ou através do telefone (GSM/Satélite);

- Serviço comercial como o *Wide-Area Differential* GPS, o qual utiliza técnicas de radiodifusão por satélite para transmitir as correções precisas GPS, por exemplo o sistema *Wide-Area OmniSTAR* (do grupo FUGRO) e sistemas de *LandStar* (do grupo THALES);

- Serviço gratuito fornecido pelos serviços de navegação através das rádio-balizas DGPS MSK (sistema de baliza DGPS IALA);

- Serviço gratuito de satélites com cobertura mundial *Wide Area Augmentation Systems* (FAA WAAS, EGNOS, GPS/GLONASS, MSAS).

Tais técnicas providenciam resultados satisfatórios para a rápida georreferenciação de pontos relevantes no terreno.

6.1.5.2. DGPS com medições da fase:

Nesta técnica os erros do relógio do satélite e os erros associados à refração ionosférica e troposférica são eliminados. As correções da fase da portadora podem ser transmitidas em tempo real pela estação de referência para o móvel utilizando o protocolo RTCM ou o formato próprio do fabricante. A técnica DGPS com medições de fase, denominada RTK (*Real Time Kinematic*) é

utilizada em aplicações cinemáticas onde é requerida maior exatidão em tempo real. O objetivo fundamental é eliminar a latência ou reduzi-la na prática ao máximo (alguns milissegundos).

6.1.6. RTK (*Real Time Kinematic*)

Nesta técnica, são eliminados os erros do relógio do satélite e os erros associados com a refração ionosférica e troposférica. A medição da fase da portadora pode ser transmitida em tempo real pela estação de referência à estação móvel através do protocolo RTCM ou outro formato próprio dos fabricantes dos equipamentos. O DGPS com medições de fase é utilizado para aplicações cinemáticas de precisão em tempo real: tais técnicas são chamadas de RTK (*Real Time Kinematic*). O objetivo é o tempo de latência ser removido ou, na prática, muito reduzido (poucos milissegundos).

Os receptores em modo RTK utilizam a fase da portadora de forma a obter exatidões na ordem dos centímetros.

A inicialização automática, chamada OTF (*On-the-fly*), é uma característica comum dos receptores com capacidades RTK, no qual tanto a estação de referência como a móvel necessitam de estar a observar no mínimo 5 satélites em simultâneo. O processo consiste em resolver as ambiguidades da fase da portadora, permitindo eliminar a restrição da movimentação do móvel durante a fase de inicialização, que demora apenas alguns minutos. Inicialmente o receptor móvel produz uma solução flutuante ou FLT com exatidão métrica (o que significa que as ambiguidades ainda não foram resolvidas). Quando a inicialização estiver terminada, a solução torna-se do tipo fixa (FIX) o que permite exatidão centimétrica.

O número de soluções fixas por segundo, produzidas pelo sistema RTK (taxa de atualização) define com que exatidão a trajetória do móvel pode ser representada. A Taxa de Atualização é medida em Hertz e atualmente para alguns receptores modernos pode alcançar valores de 20 Hz.

O tempo de latência ou Latência é o intervalo de tempo decorrido entre as medições efetuadas pelos receptores (estação de referência e móvel) e a visualização da posição no móvel (inclui tempo da observação, formatação e transmissão dos dados da estação de referência para o móvel e o cálculo da solução fixa); este parâmetro é muito importante para a orientação do veículo móvel.

Um veículo que viaja por exemplo a 25km/h percorre cerca de 7 metros por segundo. Para este caso a latência deve ser menor que 1/7 (= 0.14) de segundo de forma a obter a posição com uma exatidão inferior a 1 metro.

A transmissão de dados entre a estação de referência, localizada na área do levantamento ou a partir de uma estação permanente, para o móvel via rádio ou GSM modem, foi normalizada utilizando o protocolo internacional denominado RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime service*). As mensagens neste formato necessitam de uma taxa de transmissão de pelo menos 4800 baud, no entanto existem outros formatos padrão em que as taxas de transmissão são mais lentas 2400 baud (Ex: CMR, *Compact Measurement Record*).

6.1.6.1. Modo de posicionamento RTK

A maioria dos receptores GPS com capacidades RTK tem quatro modos principais de posicionamento:

a) RTK sincronizado (1Hz): é a técnica mais utilizada de forma a obter exatidão centimétrica entre a estação de referência e um receptor móvel. Tipicamente a taxa de atualização é 1 Hz. A latência das posições sincronizadas (soluções fixas) é determinada em grande parte pelos dados transmitidos, com uma taxa de transmissão de 4800 baud obtemos latências de um segundo. A solução obtida por esta técnica produz a melhor solução em termos de exatidão para os modos RTK e adapta-se bem a aplicações dinâmicas.

b) RTK sincronização rápida (5 ou 10Hz): permite obter a mesma latência e exatidão que o modo anterior, mas permite obter soluções 5 a 10 vezes por segundo. Resultados satisfatórios são obtidos quando a taxa de transmissão escolhida é de pelo menos de 9600 baud.

c) RTK de baixa latência: permite obter exatidões centimétricas (um pouco inferior ao modo RTK sincronizado) quase instantaneamente devido à redução da latência para aproximadamente 20 milissegundos, o que permite 20 soluções fixas a cada segundo. Esta técnica, desenvolvida para diminuir drasticamente a latência, baseia-se nos dados de fase transmitidos pela estação referência, que geralmente fornece uma solução contínua com variações independentes das perdas de sinal, dos movimentos dos satélites, dos atrasos dos relógio e dos atrasos atmosféricos. Assim os erros estimados nas observações de fase da estação de referência pelo receptor móvel são influenciados principalmente pela instabilidade nos relógios dos receptores e pelas variações inesperadas nas órbitas dos satélites.

d) Linha-base RTK em movimento: ao contrário da maioria das aplicações RTK, nas quais a estação de referência é fixa num ponto de coordenadas conhecidas, esta técnica utiliza pares de receptores (referência e móvel), ambos em movimento. Este modo depende da determinação da orientação do receptor móvel na linha-base onde os dois receptores RTK ocupam as duas extremidades (i.e. ao longo do eixo da quilha de um navio). A estação de referência transmite as observações efetuadas para o móvel, que calcula uma solução RTK sincronizada (orientação e comprimento da linha-base) a uma frequência de 1, 5 ou 10 Hz, com exatidão centimétrica. O posicionamento absoluto da estação de referência e do móvel tem uma exatidão equivalente ao do posicionamento absoluto utilizando medições do código da portadora (aproximadamente dez metros). A distância entre a estação de referência e o móvel não deve ser maior que 1 km de forma a obter bons resultados.

6.1.7. Tratamento dos dados

6.1.7.1. Processamento dos dados no posicionamento relativo com GPS

O posicionamento relativo com GPS é executado em várias fases nas quais todas as quantidades diferenciais que foram analisadas são usadas. O ponto de partida normalmente é uma solução aproximada que é melhorada por vários processos.

Todos os programas de processamento de dados GPS são compostos por funções de pré-processamento dos dados que permite determinar a ocorrência de saltos de ciclos (*cycle slips*) e de dados anómalos associados a erros grosseiros. Um bom tratamento preliminar dos dados é a base para a obtenção de uma boa solução. Um levantamento GPS pode ser efetuado de numerosas maneiras; com dois ou mais receptores, realizadas várias sessões ou dias de observações.

O método mais comum (base única) envolve a utilização de bases únicas independentes em que se considera que elas não estão correlacionadas. Esta estratégia é usada pela maioria dos programas de processamento, porque produz bons resultados de uma forma mais simples. Todos os programas que utilizam uma aproximação linear dos mínimos quadrados iniciam o processamento com valores aproximados. Estes são melhorados passo a passo durante o processamento. As principais fases do tratamento são:

a) *Solução de um único ponto utilizando medições do código*: A solução aproximada é obtida com o processamento das pseudo-distâncias do código C/A (*Coarse/Acquisition* ou *Clear/Access*) ou do código P (*Precise* ou *Protected*) se este se encontrar disponível.

b) *Definição da rede por diferenças simples da fase*: É necessário definir quais são as linhas bases independentes que serão consideradas no processamento. De forma a consegui-lo

fazer é necessário calcular as diferenças simples entre as observações das estações que formam as linhas base.

c) *Tratamento de dados com as equações de diferenças triplas (solução TRP)*: Com as coordenadas aproximadas previamente produzidas, é essencial determinar as componentes $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{TRP}$ do vetor da linha base no referencial geocêntrico WGS84, sem necessariamente ter conhecimento das ambiguidades de fase. As soluções têm algumas desvantagens, tais como a propagação sequencial dos erros durante os três processos de diferenciação. Apesar de não se obter um bom resultado, este valor aproximado é utilizado no processo computacional relativo às diferenças duplas e essencialmente é utilizado para avaliar os saltos de ciclo (*cycle slips*), que quando presentes, causam descontinuidades no cálculo das componentes da linha base.

d) *Expansão para as diferenças duplas e solução sem ambiguidade fixa (solução FLT)*: Começando com a posição da estação, deduzida a partir das diferenças triplas, as componentes $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{FLT}$ do vetor da linha base são determinados novamente por processos iterativos, conjuntamente com os valores das ambiguidades de fase obtidos com as várias combinações de dois satélites e dois receptores. As combinações das ambiguidades de fase são as únicas incógnitas.

e) *Fixar as ambiguidades num número inteiro*: Quando determinados os valores das ambiguidades de fase geralmente não correspondem a valores inteiros, estes devem ser fixos no número inteiro mais próximo. Para fazer isto o software utilizado inspeciona os desvios padrões dos parâmetros das ambiguidades, verificando se estes são iguais a pequenas frações de um ciclo. A correta fixação das ambiguidades é indicada pelo fator de qualidade RATIO. O seu valor tem que ser maior que certos limites quando comparado com o comprimento das linhas base medidas.

f) *Expansão para as diferenças duplas e solução com ambiguidades fixas (FIX)*: As componentes $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)_{FIX}$ do vetor da base são novamente determinadas, já conhecendo o termo que contém as ambiguidades de fase, previamente fixas num número inteiro. Desta forma as componentes Δx, Δy e Δz do vetor, que une as posições dos dois receptores são as únicas incógnitas a serem resolvidas pelas equações de diferenças duplas.

Esta última fase normalmente representa o resultado final do processo computacional; a resolução do sistema de equações para as diferenças duplas dá a solução final do vetor da linha-base com as ambiguidades fixas num valor inteiro (Solução Fixa).

6.1.7.2. Teste estatístico da qualidade dos procedimentos

A qualidade do resultado do cálculo de uma linha base pode ser avaliada por testes estatísticos; os principais são:

a) Teste ao Rácio: é a razão entre os dois menores valores da variância (σ^2), calculado para diferentes grupos de números inteiros; só é valida se as ambiguidades de fase forem fixadas corretamente. O processo de cálculo geralmente separa mais números inteiros das ambiguidades de fase que vão ser utilizadas na solução Fixa. Todas as soluções são calculadas com os valores prováveis das ambiguidades e o valor relativo da variância como unidade de peso. O rácio é a razão entre a segunda menor variância e a melhor (menor) em termos absolutos. Um rácio elevado significa que entre as duas soluções há diferenças consideráveis ou possivelmente melhoria; a diminuição do valor da variância é uma indicação da fixação correta dos valores inteiros. Os valores considerados aceitáveis são: um valor de Ratio > 1,5 para medições estáticas e um valor de Ratio > 3 para aplicações cinemáticas.

b) Teste da variância da unidade de peso: A variância da unidade de peso, no início fixa (também denominada variância de referência), tem que ser semelhante ao valor estimado e em condições normais, ser igual a 1. O procedimento consiste em calcular as variâncias limites através de um teste com graus de liberdade igual à redundância. Valores elevados da variância estimada podem revelar a presença de ruído no sinal, relacionado com obstáculos ou a aproximação dos satélites ao horizonte, multi-trajecto, não terem sido efetuados cálculos para os efeitos causados pelos atrasos troposféricos e ionosféricos ou cálculo incorreto do número inteiro das ambiguidades de fase.

6.2. Eletromagnéticos

As características que definem o desempenho de um sistema eletrónico de navegação são:

a) O alcance que é a distância máxima das estações a que o sistema pode ser utilizado de forma útil. Estando essencialmente ligado à potência radiada e à sensibilidade do receptor, o que compõe um problema técnico específico, com que se defronta o fabricante.

b) Precisão[25] e Exatidão[26] com que o sistema gera a posição do navio, que é relacionada com fatores que devem ser avaliados durante a utilização, com o objetivo de se conhecer a fiabilidade das posições.

A capacidade de um sistema, em relação à exatidão, relaciona-se com dois índices de saída:

a) Repetibilidade ou Exatidão da Repetição[27]: é uma medida da capacidade do sistema de repetidamente fazer voltar a plataforma móvel para a mesma posição. É influenciada pelos erros acidentais da medição (devido aos operadores, aos instrumentos e às anomalias da propagação das ondas eletromagnéticas) e pela geometria do sistema (o ângulo de intersecção entre LDPs individuais).

b) Capacidade de Previsão: trata-se de uma medida da capacidade do sistema eletrónico de navegação de minimizar a diferença existente entre as medições e a estimativa das posições produzidas com base em cálculos, tendo fixado um modelo de propagação e a geometria do sistema. Para as frequências médias e altas, as previsões para a propagação eletromagnética tendo como finalidade o posicionamento são irrelevantes. Está no entanto presente com todas as suas complicações nos sistemas de longo alcance e, portanto, nas baixas frequências.

6.2.1. Exatidão na determinação da posição

Quando a exatidão de um sistema de navegação é estabelecida, é conveniente especificar o grau de fiabilidade que pode ser atribuído a esse valor. Embora a distribuição dos erros seja mais frequentemente elíptica do que circular, é mais simples referir apenas um parâmetro, gerado a partir do raio de um círculo centrado no ponto determinado.

---

[25] "O grau de refinamento de um valor" (IHO S32 - quinta edição de 1994, #. 3987)

[26] "A extensão com que uma medida ou valor enumerado concorda com o valor assumido ou aceite" ou "o grau de conformidade com o valor correcto "(IHO S32 - quinta edição 1994, # 21 e # 3987)

[27] “Num sistema de navegação, a medida da exactidão com que o sistema permite ao utilizador retornar a uma posição definida apenas pelas coordenadas particulares desse sistema. A correlação entre as coordenadas geográficas e o sistema de coordenadas pode ou não ser conhecido "(IHO S32 - quinta edição de 1994, # 4336)

O navegador tem o valor percentual (x por cento) de probabilidade de estar dentro do círculo. Tendo em vista a troca de dados, é importante esclarecer qual foi o método estatístico utilizado na determinação do desempenho e incluir também o grau de fiabilidade (ou grau de confiança), expresso como a percentagem de valores avaliados que ficou dentro do círculo do raio determinado.

Para as medições bidimensionais (nas coordenadas horizontais x e y), os parâmetros têm geralmente dois valores:

a) Erro Circular Provável **(CEP)**: raio do círculo dentro do qual há cerca de 50% de probabilidades de encontrar o valor correto[28];

b) Erro radial ou erro médio quadrático na distância (1 σRMS ou 1 DRMS): com o pressuposto da igualdade dos desvios padrão nas duas dimensões (σ_x σ_y) [29] e da ortogonalidade entre os eixos x e y, e da distribuição normal e não correlacionada de erros, é válida a seguinte relação:

$$DRMS = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} = \sqrt{2\sigma^2} = 1,414\sigma \qquad \textbf{(2.65)}$$

Geralmente é utilizado o valor de 2DRMS, que corresponde a um nível de confiança de 98,5%.

6.2.2. Linhas de Posição (LDPs)

Limitando as distâncias a menos de 60 milhas, no estudo dos sistemas de navegação por ondas rádio, é válida a aproximação da superfície terrestre por uma superfície horizontal. Para distâncias maiores a linha de posição deve ser considerada como um arco de círculo máximo.

A maioria dos sistemas de navegação por ondas rádio produzem linhas de posição circulares e hiperbólicas, que permitem determinar a posição a partir da medição da diferença de tempo **Δt** ou da diferença de fase **Δφ**. Tais medições são traduzidas em diferenças de distâncias (LDPs hiperbólicas) ou distâncias diretas (LDPs circulares), respectivamente, com as relações:

$$\Delta d = c \,.\, \Delta t \qquad \textbf{(2.66)}$$

$$\Delta d = \frac{c}{f} . \left[\left(\frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) + n \right] \qquad \textbf{(2.67)}$$

onde:

Δd: é a diferença de distância;

c: é a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas;

Δt: é a diferença de tempo medido;

Δφ: é diferença de fase determinada;

f: é a frequência da onda em que Δφ é determinada;

---

[28] (ver também erro provável: IHO S32 - quinta edição 1994 - # 1689)

[29] (ver também erro padrão: IHO S32 - quinta edição 1994 - # 1695)

n: é o número inteiro de ciclos da onda recebida.

Um erro na medição de **Δt** ou **Δφ** aparece como um erro na respectiva linha de posicionamento, enquanto que um desvio de **c** em relação ao seu valor padrão cria uma distorção no padrão de todas as linhas.

6.2.3. Linhas de Posição Circulares (C LDPs)

Medindo a distância a partir de um ponto de coordenadas conhecidas é possível determinar uma linha de posição, que é um círculo cujo centro é definido pela posição de observação e o raio pela distância medida. O erro na medição de uma distância influencia e modifica a posição relativa da linha produzindo uma banda de incerteza, cujas proporções (desvio padrão das medições de distância) são independentes da distância.

A intersecção de duas linhas de posição circulares afetadas pelo erro produz uma área de incerteza, dentro da qual está a verdadeira posição da plataforma. Essa área geralmente tem a forma de um paralelogramo. Os sistemas circulares são caracterizados pelo fato de o ângulo de intersecção entre as LDPs variar na área de cobertura e, de num ponto genérico P, ser igual ao ângulo entre os vetores que ligam P a cada uma das estações.

No caso de **σ** ser igual para ambas as C LDPs, o erro radial especificado em (2.65) torna-se então:

$$d_{RMS} = \frac{\sqrt{2\sigma^2}}{\sin\alpha} = \frac{1{,}414.\sigma}{\sin\alpha} \qquad \textbf{(2.68)}$$

em que **α** é o ângulo de intersecção entre as duas LDPs.

Considerando que o **σ** é constante na área de cobertura, torna-se evidente que o $\mathbf{d_{RMS}}$, nos sistemas circulares, fica dependente do ângulo de intersecção entre as LDPs. As curvas de igual distância são identificadas, portanto, por terem **α** igual. Sendo arcos com ângulo α entre as C LDPs e com as suas extremidades, nas duas estações.

6.2.4. Linhas de posição hiperbólicas (H LDPs)

"*A hipérbole é uma curva aberta (linha de pontos do plano), com duas partes, com todos os seus pontos a terem uma diferença das distâncias a dois pontos fixos chamados focos, constante*" (IHO S32 - quinta edição 1994 - # 2353).

Tendo como referência um sistema cartesiano ortogonal, os pontos formam uma curva simétrica de raio variável em relação ao eixo das abcissas, ao eixo das ordenadas e à origem.

Na navegação electrónica hiperbólica, o segmento do eixo das abcissas entre os dois focos A e B é denominado linha de base. Dois pontos fixos num plano podem ser os focos de uma infinidade de hipérboles, que constituirão um padrão de hipérboles focadas similarmente.

Num sistema de hipérboles focadas similarmente, representando linhas geométricas que diferem umas das outras por um valor constante, pode-se observar:

a) As hipérboles cruzam a linha base em intervalos de distância regulares;

b) A distância entre duas hipérboles aumenta com o aumento da distância da linha base.

Na realidade, as linhas de posição obtidas através de sistemas de navegação rádio hiperbólicos são hiperbolóides. Cada estação do par de estações de rádio sincronizadas, localizadas nos focos dos hiperbolóides, pode por sua vez ser associada com uma ou mais outras estações sincronizadas formando uma cadeia hiperbólica. O observador está numa das curvas hiperbolóides que são

produzidas por dois pares de estações de rádio. Com as medições feitas a bordo, o observador pode determinar a sua posição através da identificação das hipérboles esféricas relevantes representadas nas cartas ou a partir de tabelas especiais construídas para essa finalidade.

6.2.5. Métodos de determinação de linhas de posição de ondas eletromagnéticas (EW LDPs)

A LDP de uma onda eletromagnética pode ser produzida pela medição direta ou indireta da:

a) Distância;

b) Diferença entre as distâncias.

As medições que dimensionalmente expressam uma distância são, na realidade, obtidas pela transformação de dois possíveis e diferentes tipos de medição:

a) Diferença de fase;

b) Diferença de tempo.

6.2.6. Medições da diferença de fase

As diferenças de distâncias ou as distâncias podem ser determinadas através da medição de diferença de fase.

a) Medições de distâncias:

Considerando A um ponto sobre a superfície da terra para o qual as coordenadas são conhecidas num sistema de georreferenciação estável, no qual se encontra uma estação emitindo uma onda eletromagnética continua com frequência f e, um receptor localizado num ponto genérico P, capaz de medir a diferença entre as fases das ondas electromagnéticas tem-se, constantemente, o conhecimento das posições de A e P.

Para que isso seja possível, é necessário que o receptor tenha uma onda oscilatória de frequência estável que é sincronizada com a da estação emissora.

Dessa forma, supondo conhecidas as condições de propagação no meio que separa a estação emissora do receptor, é possível saber, constantemente, a fase da onda rádio na estação A e fazer uma comparação com a fase da onda rádio recebida no receptor.

A partir da medição dessa diferença de fase, é possível obter a distância entre a estação transmissora e o receptor a menos de múltiplos de 2π (ou de 360°). A linha de posição relativa na Terra é representada pela circunferência que tem centro em A e a distância calculada como raio.

Definindo uma faixa como o espaço entre duas LDPs com uma diferença de fase de 360°, que é representada pela área circular esférica entre as duas circunferências. A partir da estação transmissora, cada ponto igual ao comprimento de onda corresponde a atravessar uma faixa com uma largura igual ao respectivo comprimento de onda.

Os erros de medição são expressos em centésimas de largura da faixa.

b) Medição da diferença de distâncias:

Nos pontos A e B sobre a superfície da Terra com coordenadas conhecidas, estão instalados dois transmissores de ondas rádio que transmitem com a mesma frequência; num ponto P encontra-se um receptor capaz de receber separadamente os sinais provenientes das duas estações e de calcular, ao mesmo tempo, a diferença de fase das

duas ondas de rádio recebidas. Excetuando para os múltiplos de 2π (ou de 360°), as diferenças de fase permitem ao receptor obter a diferença das distâncias a partir de duas estações A e B.

Sendo uma hipérbole, a linha dos pontos cuja diferença das distâncias entre dois pontos fixos (chamado de focos) é constante, resulta que em cada ponto de uma hipérbole é medida a mesma diferença de fase.

É assim possível concluir que a medição de uma diferença de fase define uma linha de posição hiperbólica.

Um receptor é capaz de medir numa faixa apenas o valor absoluto da diferença de fase, entre os 0° e os 360°, o que implica uma ambiguidade, porque essa diferença é positiva para um dos lados da hipérbole e negativa para o outro.

Técnicas adequadas garantem que em ambos os lados das hipérboles as diferenças de fase são sempre positivas. A diferença de fase é geralmente expressa em centésimas de faixa.

A identificação da faixa, à qual a diferença da fase medida se refere, faz com que seja essencial saber a faixa em que o receptor estava localizado quando foi ligado. A finalidade é a de ajustar o controlador especial que regista numericamente a passagem para cada nova faixa.

6.2.7. Medição da diferença de tempo

A medição da diferença de tempo envolve tanto a medição de um intervalo temporal delimitado por dois instantes, que é registado sucessivamente, bem como a diferença entre dois desses intervalos temporais.

As duas formas diferentes de interpretar os valores obtidos, permitem a determinação de dois tipos de medição: da distância e da diferença de distâncias.

a) Medição da distância:

A distância é obtida através da medição do tempo que decorre entre a transmissão num instante conhecido, por uma estação transmissora de posição conhecida, e o instante em que o sinal chega ao receptor.

Esse intervalo de tempo é relacionado com a medição da distância através da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas. Portanto, a capacidade de previsão das anomalias de propagação define a capacidade do sistema de posicionamento.

b) Medição da diferença das distâncias:

Admitindo que duas estações transmissoras estão localizadas nas posições A e B de coordenadas conhecidas.

Os impulsos das duas estações chegam sequencialmente a um receptor. Com técnicas adequadas, é possível medir a diferença de tempo entre as chegadas dos sinais. Sendo claramente função da diferença de distância do receptor às duas estações.

A mesma medição da diferença do tempo é realizável em ambos os lados da hipérbole, causando uma ambiguidade, uma vez que o receptor não é capaz de determinar qual dos dois impulsos chega primeiro. Para eliminar a ambiguidade, a transmissão de impulsos não é simultânea, mas feita em intervalos de tempo com um valor constante (codificação por atraso).

6.3. Sistemas Acústicos

Os sistemas de posicionamento acústicos foram originalmente desenvolvidos nos Estados Unidos para apoiar estudos de investigação subaquática na década de 1960. Desde então, esses sistemas têm desempenhado um papel importante no posicionamento de plataformas rebocadas, veículos operados remotamente/ROVs e na maioria das fases da indústria marítima de hidrocarbonetos, desde a fase inicial de prospecção passando pelo desenvolvimento das áreas e manutenção. As evoluções mais recentes e as melhorias técnicas permitiram que fossem também utilizados para fins militares.

O posicionamento acústico é capaz de proporcionar uma elevada repetibilidade posicional numa área limitada, mesmo a grande distância da costa. Para muitos utilizadores a repetibilidade é mais importante do que a exatidão absoluta, embora o advento do GPS e a tecnologia integrada GPS/INS permita atualmente a obtenção de alta precisão e exatidão.

Os mais recentes desenvolvimentos de metodologias GPS como o DGPS, WADGPS e RTKGPS podem ter reduzido a utilização de sistemas acústicos em áreas como os levantamentos sísmicos e o posicionamento dos sondadores sísmicos. No entanto, o posicionamento relativo das plataformas em relação às entradas dos poços (independentemente do local onde a plataforma está ancorada ou dinamicamente posicionada), o posicionamento de ROVs, etc. são áreas onde o posicionamento acústico permanece com uma técnica importante. Além disso, em zonas onde a atividade das manchas solares (mais pronunciadas em torno do equador magnético e das regiões polares) podem causar interferências no DGPS, um sistema de posicionamento acústico pode proporcionar uma alternativa de segurança viável para o posicionamento GPS.

Os sistemas de posicionamento acústicos medem as distâncias e as direções a balizas fundeadas no fundo do mar ou montadas em ROVs e plataformas rebocadas. A exatidão obtida dependerá da técnica utilizada, da distância e das condições ambientais. Podendo variar entre alguns metros e poucos centímetros.

Os sistemas de posicionamento acústicos produzidos por diversos fabricantes estão geralmente disponíveis nas seguintes bandas de frequências "padrão":

Classificação	Frequência	Alcance máx
Baixa Frequência (LF)	8 - 16 kHz	> 10km
Frequência Média (MF)	18 - 36 kHz	2 - 3 ½ km
Alta Frequência (HF)	30 - 64 kHz	1500 m
Frequência Extra Alta (EHF)	50 - 110 kHz	<1000 m
Muito Alta Frequência (VHF)	200 - 300 kHz	<100 m

6.3.1. Técnicas Acústicas

Existem 3 técnicas principais utilizadas nos sistemas de posicionamento acústico, Linhas de Base Longas, Linhas de Base Curtas e Linhas de Base Ultra-Curtas, com alguns sistemas híbridos modernos a usarem uma combinação de técnicas.

6.3.1.1. Método das Linhas de Base Longas (LBL)

Os sistemas acústicos que utilizam o método das Linhas de Base Longas proporcionam posições com uma boa exatidão em áreas amplas a partir de um navio, de um sensor rebocado ou de um alvo móvel, para três ou mais transponders localizados em posições conhecidas no fundo do mar. Os transponders são interrogados por um transdutor instalado na plataforma à superfície. As linhas que interligam pares de transponders no fundo são denominadas linhas base e podem variar de 50 m de comprimento a mais de 6 km, dependendo da profundidade da água, da topografia do fundo marinho, da frequência acústica utilizada e das condições ambientais.

A metodologia LBL proporciona um controle local com exatidão e alta repetibilidade. Se existir redundância, ou seja, 3 ou mais linhas de posição, a exatidão de cada posição determinada pode também ser estimada.

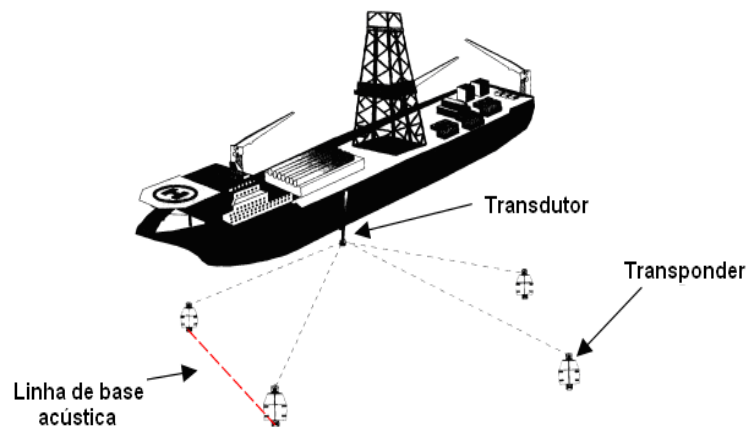



Figura 2.21 "Método das Linhas de Base Longas (LBL)"

Calibração dos sistemas LBL

Os transponders não podem ser fixos ou colocados no leito marinho de forma tão exata como os sistemas baseados em terra. No entanto, após colocados, a rede de transponders deve ser posicionada de forma relativa (uns em relação aos outros), e em seguida agarrada ao *datum* geodésico utilizado. Este datum é normalmente obtido com GPS e o processo de calibração geralmente segue três etapas:

a) Geometria Relativa: O posicionamento relativo é conseguido através da designação de um dos transponders para origem do conjunto dos equipamentos no fundo marinho e definindo a orientação pela direção para um segundo transponder. Para conseguir isto, o navio navega aleatoriamente em toda a região, tendo por objetivo atravessar cada linha base perpendicularmente pelo menos uma vez, recolhendo conjuntos válidos de distâncias diretas. Estas distâncias podem então ser processadas para corrigir a posição relativa dos transponders no fundo por trilateração e métodos de ajustamento rigorosos.

b) Orientação: O processo de orientação envolve a navegação com um rumo constante ao longo de três fiadas com intervalos de 90° a 120°, determinando duas posições acústicas bem separadas em cada fiada. O efeito da corrente de maré é cancelado pelas alterações de rumo e a rede é alinhada com o Norte definido pelas posições GPS ou pela girobússola do navio.

c) Posicionamento Absoluto: É obtido por correspondência das posições obtidas a partir da colocação dos elementos da rede acústica com as posições obtidas por GPS.

6.3.1.2. Método das Linhas de Base Curtas (SBL)

Os métodos SBL substituem as linhas de base longas formadas entre os transponders no fundo do mar por linhas base entre pontos de referência no casco de um navio de superfície, ou seja, o sistema de coordenadas fica agora fixo no navio em vez de no fundo do mar. No casco do navio, são montado três ou quatro transdutores separados por distâncias de 10 a 100 metros, que são ligados a um processador acústico instalado no navio.

Os alvos submarinos ou posições no fundo são marcados por uma baliza acústica única, a partir da qual as transmissões são recebidas pelos transdutores montados no casco. O sinal de retorno - em conjunto com o conhecimento da velocidade do som na coluna de água – é enviado para um

processador central, onde o deslocamento horizontal entre o navio e a baliza é determinado. Tal como acontece com o método LBL, são utilizadas observações redundantes para estimar a qualidade e a precisão do cálculo da posição.

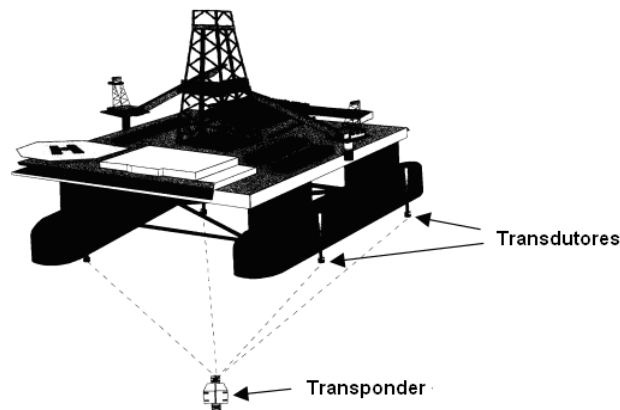



Figura 2.22 "Método das Linhas de Base Curtas (SBL)"

A posição dos transponders a bordo do navio pode ser determinada com exatidão durante a instalação. A proa/*heading*, o balanço/*roll*, e o cabeceio/*pitch* do navio devem ser medidos durante a sua operação, sendo também necessário um bom conhecimento da velocidade de propagação do som na coluna de água.

6.3.1.3. Método das Linhas de Base Ultra-Curtas ou Super-Curtas (USBL ou SSBL)

Num sistema USBL, os 3 ou 4 transponders instalados no casco dos sistemas SBL são substituídos por uma única unidade que contém uma matriz de transdutores. Para medir o ângulo de chegada de um sinal acústico em ambos os planos vertical e horizontal, são utilizadas técnicas de comparação da fase. Assim, uma única baliza localizada no fundo do mar ou sobre um alvo móvel (por exemplo, uma plataforma rebocada com um sonar) pode ser posicionada através das medições da distância e direção relativa da matriz de transdutores ao alvo.

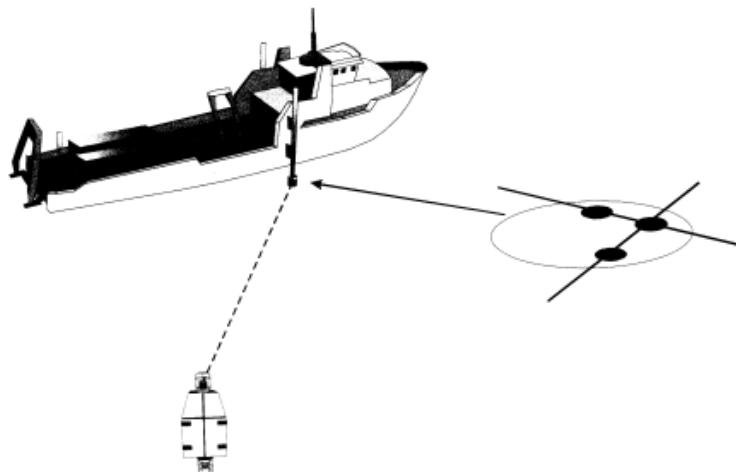



Figura 2.23 "Método das Linhas de Base Ultra-Curtas (USBL)"

O método USBL proporciona uma referência posicional simples para o posicionamento dinâmico (DP) de navios, sendo também conveniente para o posicionamento de plataformas rebocadas e ROVs.

No entanto, embora em termos de instalação seja mais vantajoso, um transdutor USBL exige um cuidadoso ajustamento e calibração. Sendo necessária uma referência para a proa e compensar a medição da direção e da distância dos efeitos do balanço, do cabeceio e da refração da coluna de água. Ao contrário dos métodos convencionais LBL e SBL, não há informação redundante nos sistemas USBL normais que permitam estimar a exatidão da posição sendo normalmente indicados valores entre 0,5 a 1% da máxima distância direta medida.

6.3.1.4. Sistemas Combinados

Os sistemas combinados beneficiam de todos os métodos anteriormente referidos para proporcionar uma posição muito fidedigna e com um bom nível de redundância. Os sistemas combinados podem ter diversas variedades:

- Linhas de Base Longas e Ultra-Curtas (LUSBL)
- Linhas de Base Longas e Curtas (LSBL)
- Linhas de Base Curtas e Ultra-Curtas (SUSBL)
- Linhas de Base Longas, Curtas e Ultra-Curtas (LSUSBL)

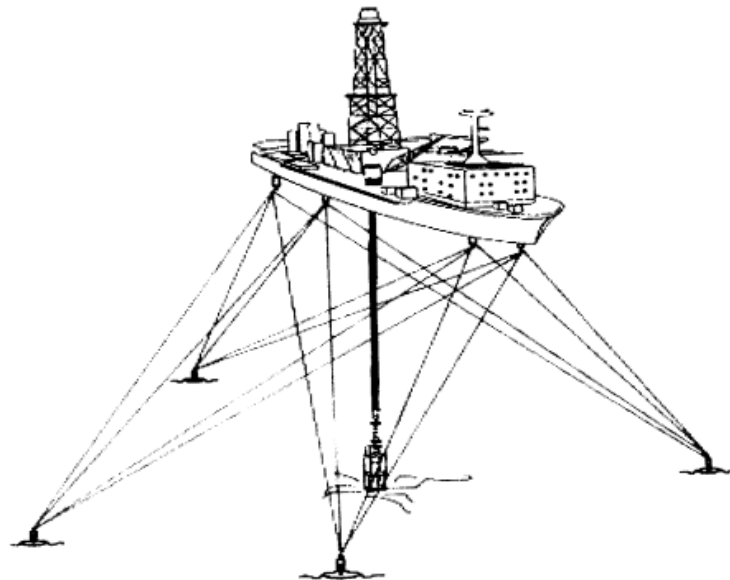



Figura 2.24 “Sistemas Combinados (LSUBL)”

6.3.1.5. Sistemas Multi-utilizador

Os sistemas multi-utilizador são necessários quando mais do que um navio estão a trabalhar muito próximos e se pretende utilizar o mesmo sistema acústico de posicionamento, como por exemplo um navio de perfuração num campo petrolífero pode ter uma plataforma de construção, uma plataforma de assentamento de condutas no fundo e um ROV de apoio no mesmo local, todas as plataformas mantendo-se em estação através do Posicionamento Dinâmico (DP). Isto significa que o potencial de "poluição acústica" é significativo. As soluções seguintes para este problema, e que estão operacionais ou em vias de desenvolvimento (2004), são:

- Sistemas de interrogação localizados numa única estação "Principal" numa baliza no fundo;
- Uma estação "Principal" num navio à superfície com telemetria rádio sincronizada para outros navios;

- Mais canais dentro da mesma banda através de técnicas de processamento de sinal;
- O uso de diferentes bandas de frequências para diferentes operações.

6.3.2. Princípios da Medição

Medição da Distância

a) Se a distância direta (R) é determinada por interrogação do transponder e o ângulo θ é conhecido, então:

$$R = ct / 2 \quad \text{e a distância horizontal (Y) pode ser determinada por: } Y = R \text{ sen } \theta$$

b) Se o transponder for substituído por uma baliza que apenas emita um sinal "ping", a distância direta (R) não se consegue obter e a profundidade deve então ser conhecida para se calcular a distância horizontal: Y =D tg θ

c) O conhecimento da velocidade de propagação do som na água (c) permite que θ seja determinado através da medição das diferenças em tempo entre a chegada do sinal aos hidrofones 1 & 2 (figuras 2.25 & 2.26). Assim, pode ser determinado o ângulo entre o transdutor/hidrofone e a baliza.

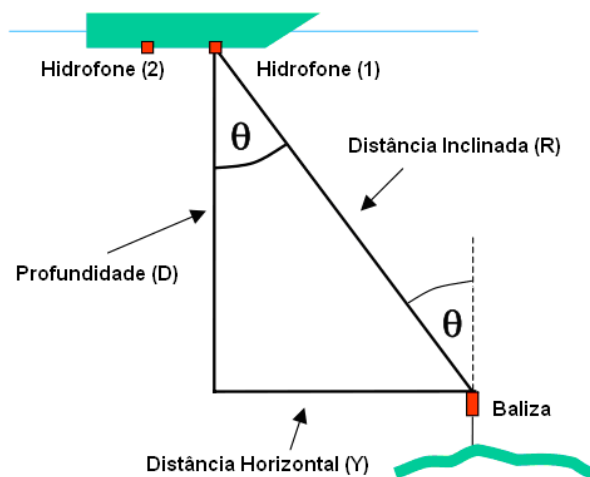



Figura 2.25 "Determinação da distância"

Medição Angular

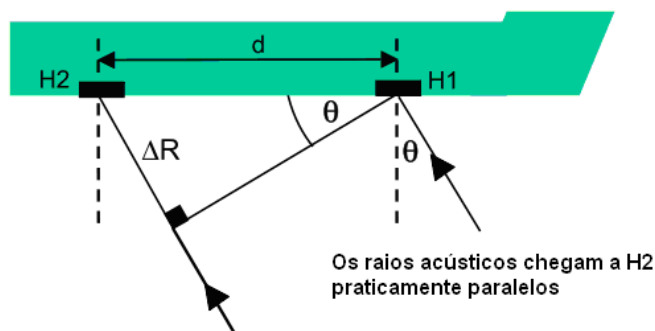



Figura 2.26 "Medição angular"

Admitindo que a velocidade do som é conhecida: $\Delta R = c\Delta t$ e sen $\theta = c\Delta t/d$

onde: c = Velocidade do Som

Δt = Diferença no tempo de chegada do sinal a H1 e H2

d = Distância entre os transdutores/transdutor e os elementos/hidrofones

Um terceiro transdutor montado perpendicularmente a H1 e H2 permite que a direção da baliza seja determinada.

Quando o navio está diretamente sobre o transponder, dois hidrofones no mesmo eixo receberão os sinais em fase. Esta é uma técnica útil utilizada no posicionamento dinâmico, em que qualquer variação para fora da estação será constatada pela chegada dos sinais desfasados.

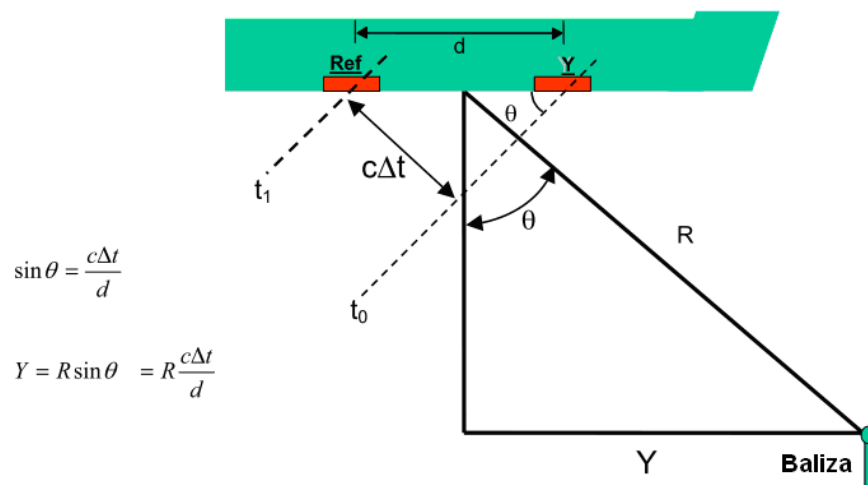



Figura 2.27

Calculando a posição em 2 planos

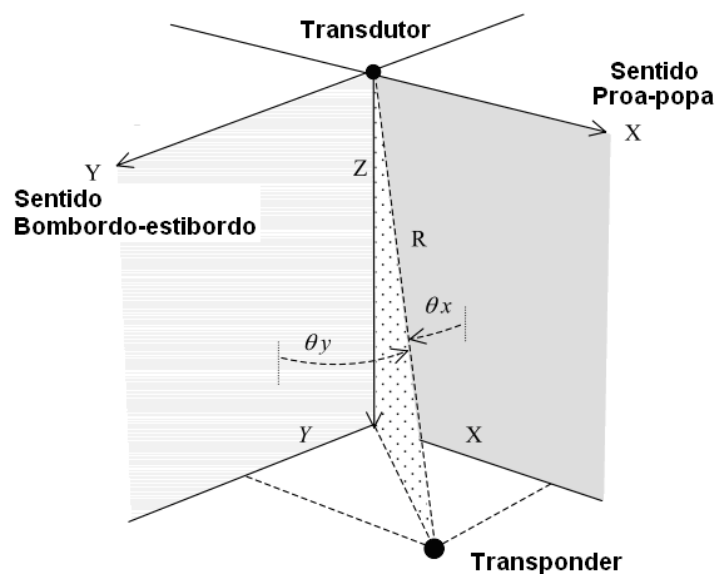



Figura 2.28

$X = R\ sen\theta x$ $Y = R\ sen\theta y$ e portanto $z = R(1 - sen^2\theta y - sen^2\ \theta x)^{1/2}$

Nota: a posição aparente requer um ajustamento devido ao:

a) Cabeceio e balanço.

b) Alinhamento dos hidrofones (na instalação).

c) Afastamento dos hidrofones (valor fixo).

d) Atraso do transponder (valor fixo).

A coordenada Z é calculada a partir dos dados acústicos, portanto, pode ser usada informação acerca da profundidade para melhorar a exatidão da posição sob condições de gradientes térmicos. A exatidão do posicionamento é considerada melhor do que 1% da distância direta.

6.3.3. Exatidão e fontes de erro

A exatidão total de uma posição acústica dependerá dos aspectos seguintes:

a) A exatidão com que a rede de transponders está estabelecida em relação a um *datum* geodésico.

b) Da determinação e supressão dos efeitos de multitrajecto (reflexões). Isto é particularmente perceptível na região de estruturas fixas, tais como plataformas de produção e é pior para os sistemas SSBL e SBL do que para os sistemas LBL.

c) A determinação precisa da velocidade do som, dos gradientes da velocidade e da quantidade de refração.

d) A frequência utilizada. A exatidão aumenta com o aumento da frequência, mas em detrimento do alcance e da potência requerida.

e) A geometria das linhas de posição e de certa forma da topografia do fundo marinho, ou seja, se os transponders são ou não “inter-visíveis”.

f) A sofisticação do sistema de processamento e do software a ser utilizado.

g) Erros de medição do tempo devido à presença de ruído nos sinais recebidos. O ruído pode ser:

- Ruído ambiente (NA): Ondas, vento, chuva e vida marinha.
- Ruído próprio (NS): Propulsão, máquinas, fluxo.
- Ruído de reverberação (NR): Volume de reverberação, superfície do mar, estruturas no fundo marinho.

Relação sinal/ruído (SNR) = E – N

Onde $E = SL - TL$

$N = 20Log_{10}NT$

e $NT = (NA^2 + NS^2 + NR^2)^{1/2}$

6.3.3.1. Estrutura da Velocidade do Som

A água do mar não é uniforme, é um meio isotrópico e, portanto, a velocidade do som (SV) na água é afetada por mudanças de temperatura (o fator dominante), pela profundidade e pela salinidade. O valor médio da SV na água do mar vai aumentando aproximadamente da seguinte forma:

De 4½ m/s para cada 1°C de aumento da temperatura.

De 1,21 m/s para cada parte por mil de aumento da salinidade.

De 1 m/s para cada 60 metros de aumento da profundidade.

Todos os sistemas exigem um conhecimento exato da velocidade média do som e de preferência o conhecimento do perfil da velocidade do som. Isso geralmente é obtido através de uma sonda TSD independente ou um perfilador de velocidades.

6.4. Técnicas Ópticas

Os parágrafos seguintes contêm apenas um breve resumo dos métodos tradicionais utilizados nas dragagens, e nos levantamentos dos canais e dos portos. A maioria deles já não são utilizados devido à utilização de técnicas GPS diferencial, no entanto continuam a ser válidos. O Capítulo 7 contém explicações mais detalhadas destes métodos de levantamentos hidrográficos.

6.4.1. Posicionamento por Linha de distâncias

O levantamento hidrográfico com recurso a cabos graduados é usado na falta de outros sistemas de posicionamento. Requer um cabo marcado mantido em tensão por um operador que fica com uma das extremidades fixa em terra.

A bordo do navio um outro operador vai folgando ou recolhendo o cabo através de um guincho, mantendo-o sempre em tensão.

Em seguida, lentamente, o navio começa a percorrer a fiada de sondagem (geralmente perpendicular à costa) guiado por um operador que verifica a direção seguida através de um determinado ângulo fixo, planeado, recorrendo a um círculo hidrográfico (ou sextante) ou a outro método visual.

6.4.2. Posicionamento com Sextante (Intersecções Inversas)

Este sistema necessita de dois operadores no navio com um círculo hidrográfico (ou sextante).

Os operadores vão determinando os ângulos entre os pontos selecionados durante o planeamento (diferença de azimutes). Cada posição durante o levantamento resulta da intersecção entre duas LDPs. As sondas são assim associadas às leituras de duas diferenças de azimutes.

6.4.3. Triangulação/Intercepções Diretas

As intersecções diretas garantem maiores precisões, mas requerem dois operadores em terra e um sistema fiável de comunicação com o navio.

O primeiro operador, através de um círculo hidrográfico (ou de um teodolito), orienta o navio, ao longo de uma fiada, comunicando por rádio eventuais ajustamentos que sejam necessários, enquanto o segundo, usando uma estação total, determina ângulos e distâncias ao navio a intervalos de tempo estabelecidos.

6.4.4. Posicionamento Azimute – Distância (Sistema misto óptico e eletromagnético)

É um método que permite a determinação de posições através da intersecção entre as duas LDPs ortogonais. Para o posicionamento é utilizado um sistema EDM e um teodolito (ou estação total), que efetuam observações para o navio.

REFERÊNCIAS

Luciano Surace	*“La georeferenziazione delle informazioni territoriali”1998*	Estratto dal "Bollettino di geodesia e scienze affini", 1998
A. Cina	*“GPS Principi Modalità e Tecniche di Posizionamento”*	Celid, Prima edizione – 2000
L. Costa	*“Topografia”*	Cooperativa Libraria Universitaria – Genova, Prima ristampa – 2001
IHO	*“Hydrographic Dictionary” S–32*	International Hydrographic Organization, Monaco, 5th edition – 1994
IHO	*“IHO Standards for Hydrographic Survey” S–44*	International Hydrographic Organization, Monaco, 5th edition – 2008
USACE	*EM 1110-2-1003 “Hydrographic Surveying”*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 1 January 2002
USACE	*EM 1110-1-1004 “Geodetic and Control Surveying”*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 1 June 2002
USACE	*EM 1110-1-1003 “NAVSTAR Global Positioning System Surveying”*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 1 July 2003
USACE	*EM 1110-1-1005 “Topographic Surveying”*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 31 August 1994
NOAA Melvin J. Umbach Rockville, Md.	*“Hydrographic Manual”*	U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS), Fourth Edition 4th July 1976
Admiralty	*“Manual of Hydrographic Surveying”*	Hydrographic Department Admiralty (UKHO), Vol. I (1965) and Vol. II (1970)
Simo H. Laurila	*“Electronic Surveying in practice”*	John Wiley & Sons, Inc New York (USA), January 1983
Börje Forssell	*“Radio navigation system”*	Prentice Hall International (UK) Ltd, 1991

BIBLIOGRAFIA

Luciano Surace	*"La georeferenziazione delle informazioni territoriali" 1998*	Estratto dal "Bollettino di geodesia e scienze affini", 1998
A. Cina	*"GPS Principi Modalità e Tecniche di Posizionamento"*	Celid, Prima edizione – 2000
L. Costa	*"Topografia"*	Cooperativa Libraria Universitaria – Genova, Prima ristampa – 2001
Romagna Manoia G.	*"Manuale di Idrografia per la costruzione delle carte marine*	Accademia Navale di Livorno, terza edizione – 1949
II 3100.	*"Manuale dell"Ufficiale di Rotta"*	Istituto Idrografico della Marina, Genova, Quinta edizione – 1992 / Prima ristampa – 1998
NorMas FC 1028.	*"Norme di Massima per i Rilievi Idrografici"*	Istituto Idrografico della Marina, Genova, Seconda edizione – 1978
Admiralty	*"Manual of Hydrographic Surveying"*	Hydrographic Department Admiralty (UKHO), Vol. I (1965) and Vol. II (1970)
IHO	*"Hydrographic Dictionary" S–32*	International Hydrographic Organization, Monaco, 5th edition – 1994
IHO	*"IHO Standards for Hydrographic Survey" S–44*	International Hydrographic Organization, Monaco, 5th edition – 2008
USACE	*EM 1110-2-1003 "Hydrographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 1st January 2002
USACE	*EM 1110-1-1004 "Geodetic and Control Surveying"*1st June 2002	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
USACE	*EM 1110-1-1003 "NAVSTAR Global Positioning System Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 1st July 2003
USACE	*EM 1110-1-1005 "Topographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington, 31 August 1994
NOAA Melvin J. Umbach Rockville, Md.	*"Hydrographic Manual"*	U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS), Fourth Edition 4th July 1976
NOAA	NOS Hydrographic Surveys *"Specifications and Deliverables"*	U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS), March 2003
Luigi Sinapi	*"Lezioni di Idrografia teorica ed operativa"*	Napoli, A.A. 2002/2003
Simo H. Laurila	*"Electronic Surveying and Navigation"*	John Wiley & Sons, IncNew York (USA), 1976
Simo H. Laurila	*"Electronic Surveying in practice"*	John Wiley & Sons, Inc New York (USA), January 1983
Börje Forssell	*"Radio navigation system"*	Prentice Hall International (UK)

		Ltd, 1991
Alam E. Ingham	*"Sea Surveying"*	John Wiley & Sons, Inc New York (USA), July 1974

CAPÍTULO 3 – MEDIÇÃO DA PROFUNDIDADE

1. INTRODUÇÃO

A Medição de profundidades é uma das principais tarefas do hidrógrafo. Estas tarefas requerem um conhecimento específico do meio físico, da acústica submarina, dos diversos equipamentos utilizados na medição de profundidades, dos sensores de determinação de atitude e proa da plataforma de sondagem e dos procedimentos apropriados para cumprir os requisitos e recomendações de exatidão e cobertura definidos pela publicação S-44 (5ª Edição) da OHI.

O fio-de-prumo e a vara de prumar foram os primeiros equipamentos utilizados na medição direta da profundidade. O seu princípio de operação simples tem permitido a sua contínua utilização ao longo de vários séculos.

Os sondadores de feixe simples, derivados dos sonares militares, foram um grande desenvolvimento tendo sido utilizados em levantamentos hidrográficos desde meados do século XX.

Durante a última década, os levantamentos hidrográficos sofreram uma mudança conceptual na tecnologia e metodologia da medição das profundidades. Os sondadores de multifeixe e sistemas de sondagem laser aerotransportados proporcionam atualmente uma cobertura quase total do fundo do mar. A alta densidade de dados recolhidos, bem como a elevada taxa de aquisição dos mesmos conduziram a enormes coletâneas de dados batimétricos e informação complementar.

O estado da arte dos equipamentos de medição de profundidade foi avaliado como se segue pelo grupo de trabalho encarregue da preparação em 1998 da 4ª edição da S-44:

> ***Sondadores de feixe simples*** *atingiram, em águas pouco profundas, uma exatidão subdecimétrica. O mercado oferece uma variedade de equipamentos com diferentes frequências, taxas de transmissão de impulsos etc. e é possível satisfazer a maioria dos utilizadores, em particular, os requisitos dos hidrógrafos. (…)*
>
> ***Sondadores multifeixe*** *apresentam um rápido desenvolvimento e oferecem grande potencial para medição exata e busca total do fundo, se utilizados com procedimentos adequados e se garantido que a resolução do sistema é adequada para a detecção de perigos para a navegação.*
>
> ***Sistemas de sondagem laser aerotransportados*** *são uma tecnologia emergente que pode oferecer ganhos substâncias de produtividade em águas límpidas e pouco profundas. Estes sistemas são capazes de medir profundidades até 50 metros ou mais.*

Apesar destas novas tecnologias, os sondadores de feixe simples (SFS) são ainda os equipamentos mais comuns utilizados nos levantamentos hidrográficos no mundo inteiro. Estes sondadores evoluíram também do registo analógico para o registo digital, com aumento da precisão e da exatidão e com um conjunto de características e funcionalidades que permitem corresponder a uma mais ampla variedade de solicitações dos utilizadores. A utilização de SFS com sensores de movimentos, sistemas de posicionamento por satélite (GPS) e *software* de aquisição de dados concorrem para a otimização da produtividade e redução de pessoal durante os levantamentos.

Nos nossos dias os sondadores multifeixe são uma valiosa ferramenta para a determinação da profundidade quando requerida a busca total do fundo. Um número crescente de serviços hidrográficos adotou a tecnologia multifeixe como a metodologia principal para a recolha de

dados batimétricos para produção cartográfica. A aceitação de dados multifeixe na utilização na cartografia náutica publicada é um indicador da crescente confiança na tecnologia. Apesar das elevadas capacidades dos SMF, é necessário um conhecimento profundo dos seus princípios de operação pelos planeadores, operadores e verificadores, assim como prática na aquisição e no processamento dos dados.

Os sistemas de sondagem laser aerotransportados são utilizados por um número muito reduzido de serviços hidrográficos. Estes sistemas têm a mais elevada taxa de aquisição e são particularmente adequados para águas pouco profundas. No entanto, os custos de aquisição e operação e operação dos meios envolvidos não permitem um uso mais generalizado.

Neste Capítulo, a Secção 2 apresenta alguns fundamentos de acústica necessários à compreensão das ondas acústicas na água do mar, à sua propagação e parâmetros acústicos. A Secção 3 trata dos sensores de movimento. A secção 4 apresenta as características dos transdutores e a sua classificação relativamente ao tipo de feixe, princípios de operação e instalação. A Secção 5 descreve os sistemas acústicos dos sondadores de feixe simples e sistemas de varrimento, tanto multifeixe como sonares interferométricos; relativamente às suas características, princípios de operação, instalação e uso operacional. Finalmente, a Secção 6 apresenta os sistemas não acústicos, tais como sistemas de sondagem laser aerotransportados e sistemas de indução eletromagnética, sistemas de detecção remota e os sistemas tradicionais de rocega mecânica.

A terminologia utilizada neste capítulo segue, dentro do possível, o Dicionário de Hidrografia [OHI SP-32 5ªEdição, 1994].

2. FUNDAMENTOS SOBRE ACÚSTICA E SENSORES DE MOVIMENTOS

A água do mar é o meio onde usualmente têm lugar as medições efetuadas em hidrografia. Assim, torna-se essencial o conhecimento das propriedades físicas da água e da propagação das ondas acústicas para compreender os conteúdos e objetivos deste capítulo.

2.1. Ondas acústicas e propriedades físicas da água do mar

Apesar das ondas eletromagnéticas apresentarem uma propagação excelente no ar e no vácuo, estas dificilmente se propagam nos líquidos. No entanto, as ondas acústicas, sónicas ou ultra-sónicas apresentam uma boa propagação nos meios elásticos, desde que estes possam entrar em vibração quando submetidos a variações de pressão. A maioria dos sensores utilizados na determinação da profundidade utiliza ondas acústicas.

2.1.1. Campo acústico

As ondas acústicas consistem em variações subtis do campo de pressão na água, as partículas de água movem-se longitudinalmente, para a frente e para trás, na direção de propagação da onda, produzindo regiões adjacentes de compressão e expansão.

A intensidade da onda acústica I é a quantidade de energia que atravessa uma unidade de área por unidade de tempo. A intensidade acústica é dada por:

$$I = \frac{p_e^2}{\rho c}, \quad \textbf{(3.1)}$$

em que ρ é a densidade da água, c é a velocidade de propagação da onda acústica na água e $\mathbf{p_e}$ é a pressão acústica efetiva[30], dada pela raiz média quadrática (*root mean square*) da amplitude da pressão acústica **P**:

$$p_e = \frac{P}{\sqrt{2}}$$

A intensidade da onda acústica é calculada através do valor médio da pressão acústica, em vez de valores instantâneos.

A pressão acústica e a intensidade, devido à vasta gama de valores que podem assumir, são usualmente expressos em escalas logarítmicas referentes a níveis de pressão e intensidade. A escala logarítmica mais comum é a escala decibel.

O nível de intensidade acústica, **IL**, é dado por,

$$IL = 10\log_{10}\frac{I}{I_{REF}} \qquad \textbf{(3.2)}$$

em que I_{REF} é a intensidade de referência.

O nível de intensidade acústica pode alternativamente ser expresso por,

$$IL = 20\log_{10}\frac{p_e}{p_{REF}} \qquad \textbf{(3.3)}$$

em que $\mathbf{p_{REF}}$ é a pressão de referência[31].

2.1.2. Equação sonar

A equação sonar[32] é utilizada para estudar e expressar a capacidade de detecção e desempenho dos sondadores em função das condições de operação [Urick, 1975].

Para os sondadores, a equação sonar apresenta uma medida da detecção de sinal ou do eco, o *Echo Excess* (EE),

$$EE = SL - 2TL - (NL\text{-}DI) + BS - DT. \qquad \textbf{(3.4)}$$

onde **SL** = *source level*/nível de transmissão, **TL** = *transmission loss*/perdas de transmissão, **NL** = *noise level*/nível de ruído, **DI** = *directivity index*/índice de directividade, **BS** = *backscatter strength*/nível de retrodifusão e **DT** = *detection threshold*/limiar de detecção.

Nesta secção, cada termo da equação sonar é apresentado e estudado com o objetivo de permitir melhor compreensão dos processos envolvidos na propagação dos sinais acústicos e da detecção de ecos.

A intensidade de uma onda acústica $\mathbf{I_r}$ à distância **r** da fonte acústica é obtida por,

---

[30] Pascal (Pa) é a unidade de pressão no Sistema Internacional de unidades (SI).

[31] Na acústica submarina a pressão de referência usualmente adoptada é de 1 μPa.

[32] *SOund NAvigation and Ranging*.

$$I_r = \frac{p_r^2}{\rho c} \quad W/m^2, \tag{3.5}$$

em que $\mathbf{p_r}$ é a pressão efetiva à distância **r** e **ρc** é a impedância acústica[33] (considerando a velocidade de propagação da ondas acústica de 1500 m/s e a densidade da água do mar de 1026 kg/m^3 a impedância acústica é $\rho c = 1.54 \cdot 10^6\ kg/m^2s$)

O Nível de Transmissão/*Source Level* (**SL**) corresponde ao nível de intensidade do sinal acústico referido a intensidade de uma onda acústica plana[34] exercendo a pressão de 1 μPa (raiz quadrática media) a 1 metro do centro da fonte transmissora, i.e.,

$$SL = 10 \log \frac{I_1}{I_{REF}} \tag{3.6}$$

As Perdas de Transmissão/*Transmission Loss* (**TL**) resultam das perdas de intensidade acústica devido à geometria, i.e., por espalhamento da energia ao longo de uma maior superfície, sendo proporcional a $\mathbf{r^2}$. E devido à absorção em função das propriedades físicas e químicas da água do mar e da frequência acústica, sendo proporcional ao coeficiente de absorção (ver §2.3.1).

O espalhamento deve-se à forma cónica do feixe (Figura 3.1). O aumento da superfície conduz a um decréscimo da potência por unidade de área, ou seja a uma diminuição da intensidade.

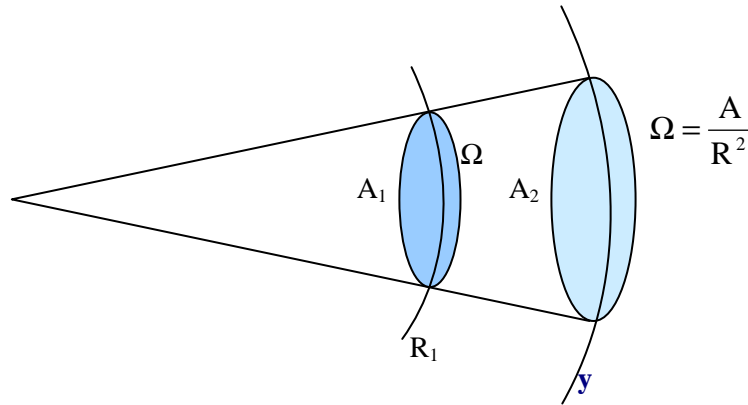



Figura 3.1 "Perdas de propagação devido à geometria do feixe"

A potência do impulso acústico, **Π**, é igual a Intensidade x Área,

$$\Pi = I_1 \cdot A_1 = I_2 \cdot A_2,$$

onde $\mathbf{A_1} = \Omega \cdot R_1^2$ e $\mathbf{A_2} = \Omega \cdot R_2^2$, sendo **Ω** o ângulo sólido[35].

---

[33] A impedância acústica é uma medida da resistência do meio à propagação de ondas acústicas, i.e., um factor de proporcionalidade entre a velocidade e a pressão acústica.

[34] As ondas planas ocorrem em regiões reduzidas, suficientemente afastadas da fonte, onde as superfícies de onda (pontos que vibram em fase) são aproximadamente planas e apresentam a mesma amplitude.

Assim, a relação de intensidades é dada por,

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \qquad \textbf{(3.7)}$$

Considerando a intensidade de referência em R_1 = 1 m, distância para a qual o nível da transmissão (SL) é determinado, a razão logarítmica das intensidades relaciona as perdas de transmissão por espalhamento:

$$10 \cdot \log \frac{I}{I_{Ref}} = 10 \cdot \log \frac{1}{{R_2}^2} = -20 \cdot \log R_2 \qquad \textbf{(3.8)}$$

Pelo que as perdas de transmissão são dadas por,

$$TL = 20 \log_{10} r + ar, \qquad \textbf{(3.9)}$$

em que **r** é a distância ao transdutor e **a** é o coeficiente de absorção.

O Nível de Ruído/*Noise Level* (**NL**) depende do nível espectral de ruído ambiente (**N_0**) e da largura de banda do transdutor durante a recepção (w),

$$NL = N_0 + 10 \log_{10} w. \qquad \textbf{(3.10)}$$

O ruído no oceano é gerado por várias fontes [Urick, 1975], tais como: ondas, atividade sísmica, ruído termal, vida marinha e tráfego marítimo.

Além do ruído, é também importante ter em conta o efeito combinado da retrodispersão de energia acústica existente na coluna de água (ex: ondas de superfície, bolhas de ar, vida marinha, material em suspensão, etc.). Esta contribuição é conhecida como Nível de Reverberação/*Reverberation Level* (**RL**).

Os transdutores têm usualmente a capacidade de concentrarem ou dirigirem a energia acústica num feixe com forma cónica (Figura 3.2). Esta propriedade pode ser quantificada, para a equação sonar, através da razão entre a intensidade acústica nesse feixe e a intensidade acústica numa fonte omnidireccional, com potências iguais.

---

[35] O ângulo sólido, Ω, corresponde ao espaço delimitado por uma superfície cónica. O valor, expresso em esteroradianos (sr), é obtido por $\Omega = S/R^2$, onde S é a superfície esférica com centro no vértice do cone e raio R.

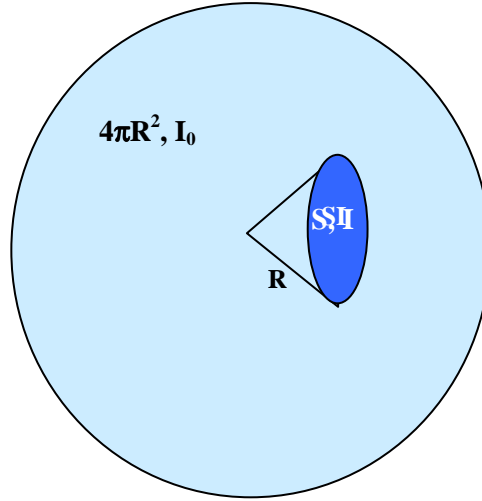



Figura 3.2 "Superfícies insonificadas por uma fonte omnidirecional e por uma fonte direcional"

Considerando a mesma potência para as fontes direcional e omnidirecional tem-se:

$$\Pi = I_0 \cdot 4\pi R^2 = I \cdot S. \qquad \textbf{(3.11)}$$

A razão de intensidades é dada por,

$$\frac{I}{I_0} = \frac{4\pi R^2}{S} \qquad \textbf{(3.12)}$$

sendo o <u>Índice de Directividade/*Directivity Index*</u> (**DI**) obtido por:

$$\mathrm{DI} = 10\log_{10}\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}_0} = 10\log_{10}\frac{4\pi\mathrm{R}^2}{\mathrm{S}}. \qquad \textbf{(3.13)}$$

Para um transdutor agregado de comprimento **L** e comprimento de onda **λ**, (com $L >> \lambda$) o Índice de Directividade é dado por:

$$\mathrm{DI} = 10 \log_{10} (2L/\lambda). \qquad \textbf{(3.14)}$$

A energia acústica refletida pelo fundo do mar é a matéria utilizada pelos sistemas sonar, sendo também utilizada de forma remota para inferir algumas propriedades do fundo.

O conhecimento do ângulo do feixe e do perfil de velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água permite obter do nível de retrodifusão (*backscatter*) corrigido dos efeitos das perdas de propagação.

Cada partícula do fundo pode ser vista como um refletor, sendo o retorno do fundo a soma das contribuições de energia proveniente da interface água – solo e do volume de sedimentos, devido à penetração de alguma energia nos sedimentos. No entanto, a contribuição do volume de sedimentos é menos significativa para frequências elevadas.

O <u>Nível de Retrodifusão/*Backscattering Strength*</u> (**BS**) é usualmente descrito como a soma logarítmica da retrodifusão intrínseca por unidade de área ou *backscatter index* (**SB**) que é dependente das propriedades refletivas do fundo e da área efetiva de retrodifusão **A** (área insonificada do fundo que contribui para o sinal retroreflectido).

$$BS = SB + 10 \log_{10} A \text{ dB} \quad \textbf{(3.15)}$$

Os limites da área de retrodifusão são definidos pela geometria do feixe na vertical do transdutor (*nadir*), especificamente pela largura do feixe transmitido na direção longitudinal (*along track*), ϕ_T, e pela largura do feixe recebido na direção transversal (*across track*), ϕ_R.

Fora da vertical do transdutor, a área de retrodifusão é limitada pela largura do feixe, ϕ_T, e pelo comprimento do impulso transmitido, τ (Figura 3.3). O Nível de Retrodifusão pode ser dado por:

$$BS = \begin{cases} SB + 10\log\left(\phi_T \phi_R R^2\right) & \text{Constrição por largura do feixe} \\ SB + 10\log\left(\dfrac{c\tau}{2\sin\beta}\phi_T R\right) & \text{Constrição por comprimento de impulso} \end{cases} \quad \textbf{(3.16)}$$

em que **R** é a distância entre o transdutor e um ponto no leito do mar, **c** é a velocidade de propagação do som na água e β é o ângulo do feixe, referido à vertical.

O coeficiente de retrodifusão, **SB**, depende significativamente do ângulo de incidência, com a maior variação próximo do nadir. Para ângulos de incidência mais elevados segue a lei de Lambert [Urick, 1975 e de Moustier, 1993]. É comum definir:

$$SB = BS_N \text{ , para incidência normal } (\beta = 0^o)$$

$$SB = BS_O \cdot \cos^2 \beta\text{, para incidência obliqua } (\beta > 10\text{-}25^o)$$

Tipicamente, o BS_N apresenta um valor na ordem de -15 dB e o BS_O na ordem de -30 dB. Estes valores podem variar ±10 dB ou mais, dependendo do tipo de fundo e da sua rugosidade.

Considerando a Figura 3.3, a área insonificada instantânea, **A**, é uma função da largura do feixe transmitido, ϕ_T. O número de amostras por feixe depende do intervalo de amostragem (τ_S).

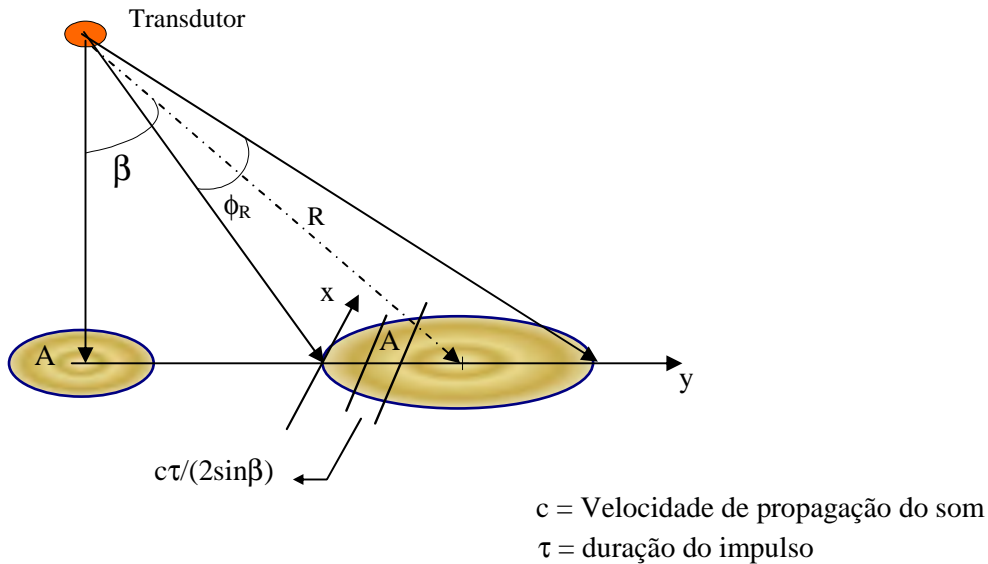



Figura 3.3 "Amostras de retrodifusão"

O <u>Limiar de Detecção/*Detection Threshold*</u> (**DT**) é um parâmetro dependente do sistema e estabelece o nível mínimo a partir do qual o sondador detecta os ecos.

2.1.3. Temperatura

A temperatura da água do mar à superfície varia com a posição geográfica, com a estação do ano e com a hora do dia [Pickard e Emery, 1990]. A sua distribuição é complexa e não pode ser prevista com a exatidão necessária para os levantamentos hidrográficos. E ao longo da coluna de água, o comportamento da velocidade de propagação do som é também bastante complexo. Devido a essas dificuldades de previsão, é necessária uma distribuição abrangente no tempo e no espaço dos perfis de velocidade de propagação do som na água para se poder dispor de perfis atualizados de velocidade de propagação do som na água representativos da área a sondar.

A medição da profundidade é muito sensível às variações do perfil de velocidade de propagação do som na água. A variação de 1 grau Celsius na temperatura traduz-se aproximadamente numa variação de 4,5 m/s na velocidade de propagação do som.

A variação de temperatura é o fator dominante na variação da velocidade de propagação do som na água entre a superfície e o limite inferior da termoclina[37], passando a ser a pressão o fator dominante para maiores profundidades.

2.1.4. Salinidade

A salinidade é uma medida da quantidade de sais e outros minerais dissolvidos na água do mar. É normalmente definida como a quantidade total de sais dissolvidos na água do mar em partes por milhar (‰).

Na prática, a salinidade não é determinada diretamente mas calculada com base no teor de cloro, condutividade elétrica, índice de refração, ou por outra propriedade cuja relação com a salinidade seja bem conhecida. Pela Lei das Proporções Constantes a quantidade de cloro numa amostra de água é utilizada para estabelecer a salinidade[38] dessa amostra.

A salinidade media da água do mar é da ordem de 35 ‰. A taxa de variação da velocidade de propagação do som na água é aproximadamente 1.3 m/s para uma variação de 1 ‰ na salinidade.

A salinidade é normalmente medida através de estações CTD (acrónimo para condutividade, temperatura, e profundidade) usando a observável condutividade elétrica, ver § 2.2.1.2.

2.1.5. Pressão

A pressão também afeta significativamente a variação da velocidade de propagação do som na água. A pressão é uma função da profundidade e a taxa de variação da velocidade de propagação do som é de 1.6 m/s por cada 10 atmosferas (aproximadamente por cada 100 metros de profundidade)[39].

A pressão tem maior influência na velocidade de propagação do som em grandes profundidades.

---

[37] A termoclina é também conhecida como a camada de descontinuidade ou camada térmica. A termoclina corresponde a um gradiente negativo da temperatura ao longo da coluna de água e que é mais acentuado que nas camadas adjacentes, inferior e superior. No oceano, as principais termoclinas são sazonais, devido ao aquecimento da superfície da coluna de água, ou permanentes.

[38] Um comité conjunto (IAPO, UNESCO, ICES, e SCOR) propôs a adopção universal da seguinte relação entre a clorinidade e a salinidade: S = 1.80655 Cl. Esta equação foi adoptada em 1963 pela IAPO e em 1964 pela ICES.

[39] Por aplicação do princípio da hidrostática, i.e., $p(z) = p_0 + \rho g z$.

2.1.6. Densidade

A densidade da água depende dos parâmetros anteriores, i.e., temperatura, salinidade e pressão.

Cinquenta por cento da água no oceano apresenta uma densidade compreendida entre 1027,7 e 1027,9 kg/m^3. A maior influência na densidade é a compressibilidade da água com a profundidade. Uma massa de água com densidade de 1028 kg/m^3 à superfície apresentará uma densidade de 1051 kg/m^3 a uma profundidade de 5000 metros

2.2. Determinação da velocidade de propagação do som, salinidade e temperatura

Esta subsecção descreve a instrumentação utilizada na determinação da velocidade de propagação do som, salinidade e temperatura, assim como os seus princípios de operação e o cálculo da velocidade de propagação do som na água.

2.2.1. Instrumentação

2.2.1.1. SVP (Perfilador de velocidade do som)

É o equipamento usualmente utilizado para a determinação da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água. Este equipamento tem um sensor de pressão para medir a profundidade e um par transdutor/refletor separados de uma distância **d**. A velocidade de propagação do som é calculada pela equação $\mathbf{c = 2*d/\Delta t}$, onde $\mathbf{\Delta t}$ corresponde ao intervalo de tempo do duplo trajeto entre o transdutor e o refletor (similar à medição de profundidade efetuada pelos sondadores acústicos).

2.2.1.2. CTD

É um equipamento eletrónico com sensores de condutividade, temperatura e profundidade. Este equipamento regista a salinidade por medição da condutividade elétrica da água do mar.

A velocidade de propagação do som na água do mar varia com a elasticidade e densidade do meio, grandezas que dependem da salinidade, da temperatura e da pressão. Com os dados do CTD (salinidade, temperatura e pressão) é possível calcular, através de equações empíricas, a velocidade de propagação do som na água. Uma equação simples mas com exatidão adequada foi apresentada por Coppens [Kinsler et al., 1982]:

$$C\,(Z, T, S) = 1449.05 + T\cdot(4.57 - T\cdot\,(0.0521 - 0.00023\cdot T)) + \qquad \mathbf{(3.17)}$$

$$+\,(1.333 - T\cdot\,(0.0126 - 0.00009\cdot T)(S - 35) + \Delta(Z)$$

em que **T** é a temperatura em graus Celsius (ºC), **S** é a salinidade em partes por mil (ppm), **Z** é a profundidade em quilómetros e $\mathbf{\Delta(Z)} \approx 16.3\cdot Z + 0.18\cdot Z^2$.

Esta equação é válida para 45 graus de latitude. Para outras latitudes, **Z** deve ser substituída por $\mathbf{Z\cdot(1 - 0.0026\cdot\cos(2\varphi))}$, sendo $\boldsymbol{\varphi}$ a latitude.

2.2.1.3. Termistores

São elementos cuja resistência elétrica depende da sua temperatura, função da quantidade de calor recebido das imediações por radiação[40]. As cadeias de termistores são utilizadas para medir a temperatura a várias profundidades ao longo da coluna de água. Estas cadeias, usualmente fundeadas, consistem em vários elementos regularmente espaçados ao longo de um cabo de

[40] A taxa de calor por radiação é dada pela Lei de Stefan que descreve a razão de emissão de calor por radiação como proporcional à quarta potência da temperatura absoluta.

suporte. Um registador de dados efetua uma amostragem sequencial e armazena as temperaturas ao longo do tempo.

2.2.2. Operação dos equipamentos

Antes de ser utilizado, o SVP deve ser corretamente parametrizado com as configurações da gravação e calibrado com o offset atmosférico de forma a gerar medições fiáveis

Convém sublinhar que, durante a calibração do offset atmosférico, o SVP não se deve encontrar em local pressurizado sob risco da calibração introduzir desvios incorretos, conduzindo a erros na medição da profundidade.

Antes de efetuar o perfil, o equipamento deverá ser colocado na água, durante cerca de 15 minutos, para estabilização térmica.

Durante a realização dum perfil de velocidade de propagação do som na água é recomendável que o equipamento seja arriado a velocidade constante.

2.2.3. Registo e processamento de dados

Os perfis de velocidade de propagação do som na água devem ser editados e verificados cuidadosamente para despiste de profundidades e leituras anómalas.

Em geral, os perfiladores efetuam o registo de pares de profundidade – velocidade de propagação durante a subida e descida do equipamento. Assim, as medições devem ser comparadas e a informação adicional removida, de forma a obter um ficheiro ordenado por profundidades crescentes.

2.2.4. Cálculo da velocidade de propagação do som

Após validação do perfil de velocidade de propagação do som, este pode ser aplicado aos ficheiros dos dados de sondagem, sendo utilizado para corrigir as profundidades medidas através dos dados do perfil da velocidade do som.

Para feixes próximos da vertical, caso específico dos sondadores de feixe simples, é suficiente a utilização de um valor médio de velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água. No entanto, para feixes oblíquos, é necessário efetuar o traçado do raio acústico tendo em consideração a curvatura do feixe devido a fenómenos de refração. Este é o procedimento utilizado nos sondadores de multifeixe (ver §5.2.1.8.1).

Para um impulso transmitido na vertical (i.e., $\theta_0 = 0^o$), a média harmónica para a velocidade de propagação do som c_h, para uma profundidade z_n, é dada por,

$$c_h(z_n) = \frac{z_n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{g_i} \ln\left(\frac{c_i}{c_{i-1}}\right)}, \tag{3.18}$$

em que $\boldsymbol{g_i}$ é o gradiente constante na camada $\boldsymbol{i}$, dado por, $g_i = \frac{c_i - c_{i-1}}{z_i - z_{i-1}}$.

2.3. Propagação do som na água do mar

Nesta secção é apresentada a propagação do som na água do mar, em particular a atenuação, reflexão e refração.

2.3.1. Atenuação

A atenuação é a perda de energia na propagação de uma onda acústica devido a absorção, espalhamento esférico e dispersão devido a partículas existentes na coluna de água.

A absorção resulta da dissociação e associação de algumas moléculas na coluna de água. O sulfato de magnésio (MgSO4) é o composto que mais contribui para a absorção na água do mar. A taxa de absorção depende das propriedades físico-químicas da água e da frequência acústica transmitida. Observando a Figura 3.4 é possível concluir que acima de 100 kHz o coeficiente de absorção aumenta com a temperatura. Por essa razão, é esperada uma variação do alcance sonar com a temperatura do meio.

O espalhamento esférico depende a geometria. Para um ângulo sólido a energia acústica dispersa-se à medida que a distância à fonte aumenta.

Ambas as perdas por absorção e por espalhamento esférico são tidas em consideração na equação sonar (cf. § 2.1.2). No entanto, as perdas por reflexão dependem de partículas ou corpos presentes na coluna de água. A reflexão deve-se principalmente ao organismos marinhos, sendo uma das maiores contribuições o *deep scattering layer* (DSL) que consiste numa camada de plâncton que varia de profundidade ao longo do dia.

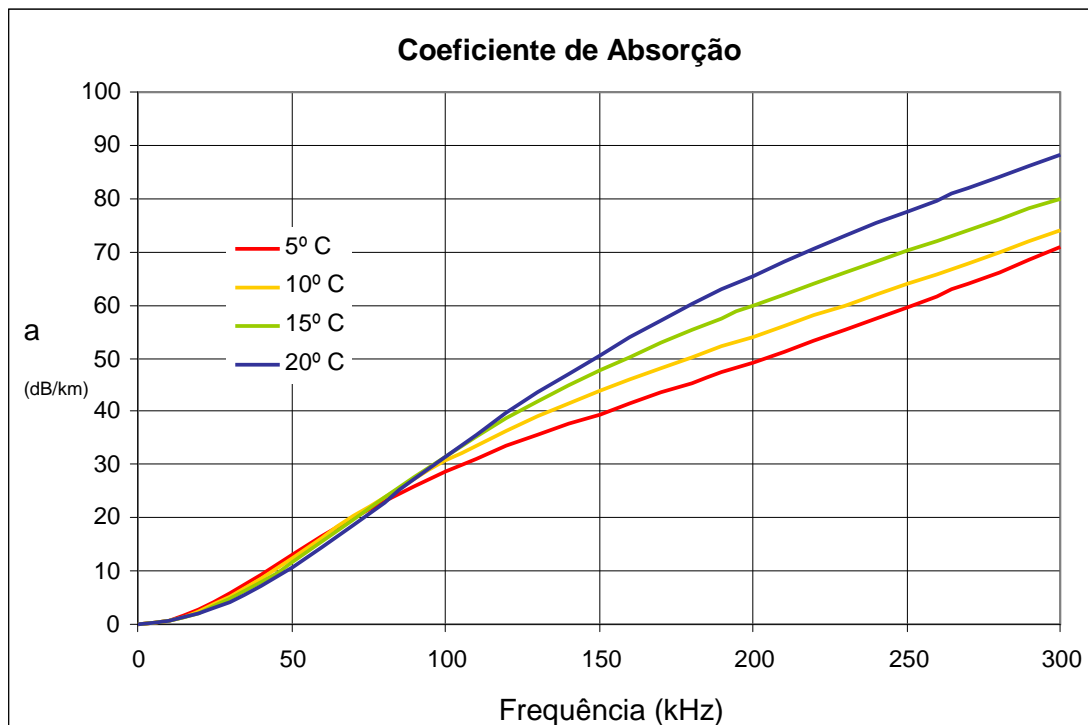



Figura 3.4 "Coeficiente de absorção"

2.3.2. Refração e reflexão

A refração é o processo pelo qual a direção de propagação da onda acústica varia como resultado da variação da velocidade de propagação do som ao longo do meio de propagação, ou quando a energia acústica passa através da interface entre dois meios, apresentando uma descontinuidade na velocidade de propagação do som entre os dois meios.

De acordo com a Lei de Snell e considerando dois meios (Figura 3.5) com diferentes velocidades de propagação do som $\mathbf{c_1}$ e $\mathbf{c_2}$, se $\mathbf{c_1}$ for maior que $\mathbf{c_2}$ a direção de propagação da energia é alterada e o ângulo de transmissão será menor que o ângulo de incidência. Ao invés, se $\mathbf{c_1}$ for menor que $\mathbf{c_2}$,

a direção de propagação da energia é alterada e o ângulo de transmissão será maior que o ângulo de incidência. Para incidência normal não ocorre refração.

Para incidência normal e para fundos regulares, o coeficiente de reflexão[41] para a pressão, $\Re$, é obtido pela razão entre a amplitude de pressão da onda refletida e a amplitude de pressão da onda incidente [Kinsler et al., 1982].

$$\Re = \frac{P_R}{P_I} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \tag{3.19}$$

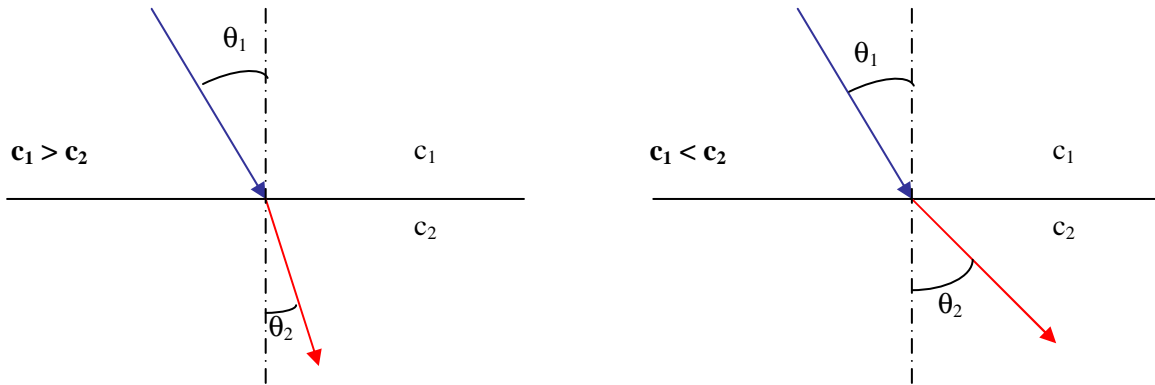



Figura 3.5 "Principio da Refração"

Em condições normais, a razão entre a energia acústica refletida e a energia acústica transmitida depende principalmente de:

- Diferenças entre impedâncias acústicas do meio;
- Rugosidade do fundo;
- Frequência acústica.

2.4. Parâmetros acústicos

As características de um sondador acústico são determinadas pelos seus transdutores, nomeadamente, a directividade, largura do feixe, guiamento do feixe e nível dos lóbulos laterais. Nesta subsecção são apresentados os parâmetros acústicos.

2.4.1. Frequência

A frequência acústica é o parâmetro que condiciona o alcance e a penetração da onda acústica nos sedimentos. A atenuação do sinal acústico na água é proporcional à frequência. Quanto mais elevada a frequência maior a atenuação e, consequentemente, menor o alcance e a penetração das ondas acústicas no volume de sedimentos.

A largura do feixe depende da frequência acústica e da dimensão do transdutor. Para a mesma largura do feixe, uma frequência menor requer um transdutor com maior dimensão.

---

[41] É possível definir coeficientes de reflexão para a potência e para a intensidade. Para a incidência normal o coeficiente para a potência e para a intensidade corresponde ao quadrado do coeficiente de reflexão para a pressão.

As frequências típicas dos sondadores acústicos são as seguintes:

- Frequências superiores a 200 kHz para profundidades inferiores a 100 metros;
- Frequências entre os 50 e 200 kHz para profundidades inferiores a 1500 metros;
- Frequências entre 12 e 50 kHz para profundidades superiores a 1500 metros.

As frequências dos perfiladores de sedimentos são, em geral, inferiores a 8 kHz.

2.4.2. Largura de banda

Considerando $\mathbf{f_0}$ como a frequência de ressonância, correspondente à máxima potência de transmissão, e $\mathbf{f_1}$ e $\mathbf{f_2}$ as frequências correspondentes a metade da potência máxima, a largura de banda é o intervalo entre essas frequências (Figura 3.6), i.e., $B_w = f_2 - f_1$.

O fator de qualidade do transdutor, **Q**, é dado por,

$$Q = \frac{f_0}{B_w}. \qquad \textbf{(3.20)}$$

Das definições acima é possível concluir que **Q** e $\mathbf{B_w}$ variam inversamente. Portanto, para otimizar a potência transmitida o transdutor deve transmitir próximo da frequência de ressonância e ter uma pequena largura de banda, i.e., um elevado fator de qualidade.

Durante a recepção é necessário ter uma boa discriminação do eco relativamente a qualquer outro sinal. Embora deva ser bem definida na faixa de frequência, a largura de banda do transdutor deve satisfazer a relação $\mathbf{B_w \geq 1/\tau}$**,** sendo $\boldsymbol{\tau}$ o comprimento do impulso

A solução ideal é ter um transdutor para a transmissão com **Q** elevado, e um transdutor de recepção com a mesma frequência de ressonância mas com baixo **Q**.

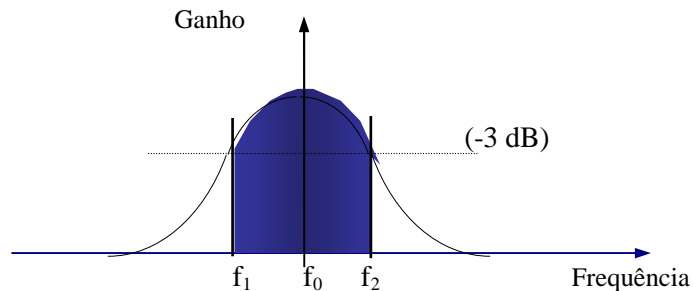



Figura 3.6 "Largura de banda do transdutor"

2.4.3. Comprimento do impulso

O comprimento do impulso determina a energia transmitida para a água. Para a mesma potência, quanto maior o comprimento do impulso, mais energia é colocada na água e, portanto, maior será o alcance atingido pelo sondador acústico.

Para tirar vantagem da frequência de ressonância do transdutor a duração do impulso deve ser, no mínimo, metade do seu período natural. No entanto, o inconveniente de impulsos mais longos é o decréscimo na resolução vertical de duas estruturas próximas (Figura 3.7).

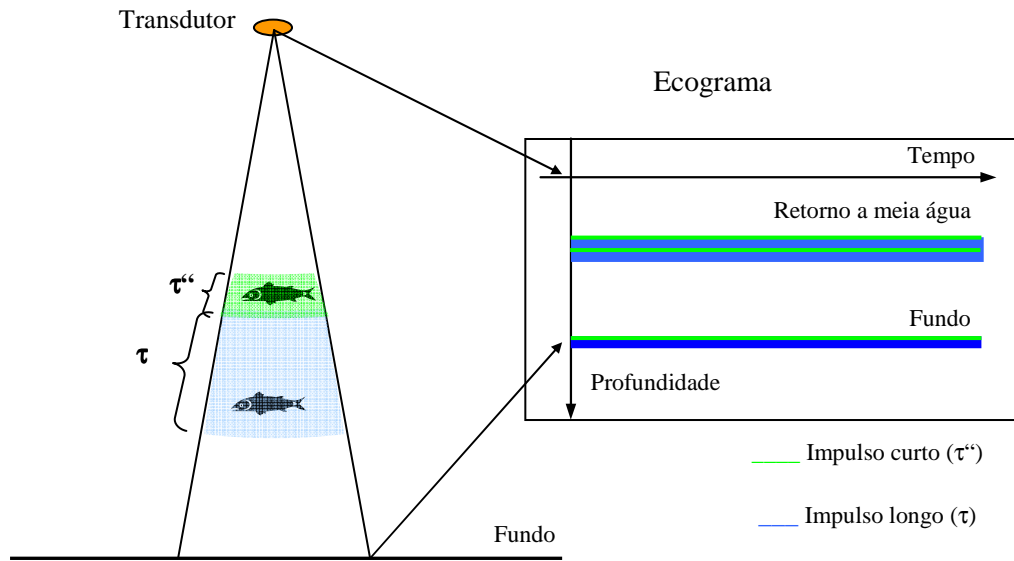



Figura 3.7 "Resolução vertical em função do comprimento do impulso"

3. SENSORES DE MOVIMENTO

Ser possível corrigir as profundidades observadas e o seu posicionamento do movimento da plataforma de sondagem, i.e., atitude (balanço/*roll*, cabeceio/*pitch*, e proa/*heading*) e arfagem/*heave*, significou uma melhoria considerável na qualidade e exatidão dos levantamentos hidrográficos. Para este objetivo são utilizados sensores inérciais e sensores de proa (usualmente uma girobússola ou agulha *fluxgate*) ou ainda sensores inérciais com integração de informação GPS para medição da atitude e da arfagem da plataforma de sondagem.

A atitude da plataforma consiste em três rotações em torno de três eixos ortogonais convencionados para a plataforma. Daqui em diante o sistema de coordenadas da plataforma é definido por um sistema de mão direita, apontando o eixo dos xx” para a proa, o eixo dos yy” para estibordo e o eixo dos zz” para baixo. Neste sistema de referência o balanço corresponde à rotação em torno do eixo dos xx” (o balanço é positivo quando o estibordo entra na água), o cabeceio corresponde à rotação em torno do eixo dos yy” (o cabeceio é positivo quando a proa sai fora de água), e a guinada/*yaw* corresponde à rotação em torno do eixo dos zz” (o *yaw* é positivo para rotações no sentido dos ponteiros do relógio).

Para se transformar os dados de movimento, referidos ao sistema de referência da plataforma, para o sistema de coordenadas local é necessário efetuar rotações de acordo com a atitude a que a plataforma está sujeita. Daqui em diante, por convenção, o sistema de coordenadas local é definido como um sistema de mão esquerda com o eixo dos xx” a apontar para Este, o eixo dos xy” a apontar para Norte e o eixo dos zz” a apontar para baixo.

Esta secção apresenta os fundamentos sobre a determinação dos movimentos e a sua exatidão.

3.1. Princípios de funcionamento

3.1.1. Sensores inérciais

Os sensores inérciais ou Inertial Measurement Units (IMU) são os sensores usualmente utilizados em hidrografia para determinação do balanço, cabeceio e arfagem. Estes sensores aplicam as leis do movimento de Newton e consistem em três acelerómetros, instalados num sistema de eixos tri-ortogonais e três sensores de razão angular colocados no mesmo sistema de eixos, ficando sujeitos aos mesmos movimentos que a plataforma (*strap down system*).

A saída da tríade de acelerómetros fornece a uma boa estimação do vetor de gravidade. A tríade de sensores de razão angular mede os movimentos angulares (*roll*, *pitch e yaw*).

Os dados provenientes dos acelerómetros passam por um filtro passa-baixo para a remoção na vertical aparente das variações de alta-frequência devido à ondulação, guinadas e alterações bruscas de velocidade. Por outro lado, os dados do sensor de razão angular passam por um filtro passa-alto para remover os movimentos de baixa frequência. O resultado dos filtros é a atitude da embarcação, acima da frequência de corte estabelecida (usualmente, são aceitáveis frequências de corte entre 0,1 a 0,05 Hz).

Quando a plataforma está sujeita a acelerações cuja duração excede o período de corte utilizado no filtro passa-baixo aplicado aos acelerómetros, tais como rotações ou variações prolongadas de velocidade, a aceleração centrípeta ou tangencial é interpretada como aceleração horizontal prolongada, não sendo filtrada pelo filtro passa-baixo. O resultado é a deflexão aparente da vertical do lugar, com os consequentes erros nas medições angulares (*roll* e *pitch*).

A combinação dos dois filtros (passa-baixo e passa-alto) e a relação entre as duas bandas de passagem estabelece as características do sensor.

Estes sensores inérciais são muito sensíveis ao intervalo de tempo utilizado para a integração, especialmente para o cálculo de arfagem. A frequência de corte equivalente deve ser afinada para um valor adequado em que o sensor possa detectar a ondulação de maior período, sem atenuar ou eliminar as ondas com menor período.

3.1.2. Integração dos sensores inérciais com informação GPS

A integração de informação GPS fornece um meio para determinação da proa da plataforma através da utilização de duas antenas GPS numa linha base, usualmente orientada longitudinalmente á proa da plataforma.

A velocidade e a taxa de rotação da plataforma fornecida pelo receptor GPS e pelos sensores de razão angular podem ser utilizadas para calcular a aceleração centrípeta. Tomando em linha de conta essa informação, as medições de *roll* e de *pitch* são compensadas da deflexão da vertical aparente. O ganho com este sensor é o de *roll* e *pitch* com elevada exatidão**,** imune às acelerações horizontais.

3.2. Medições de *roll*, *pitch*, e arfagem

Desde meados da década de 1990 que os sensores de movimento são utilizados de forma recorrente nos levantamentos hidrográficos. Estes sensores são hoje um requisito essencial não só para os levantamentos com sondador multifeixe, mas também para os levantamentos de feixe simples quando utilizada a aquisição automática de dados. Estes sensores são utilizados para compensar o *roll*, *pitch* e arfagem.

As profundidades calculadas devem ter em consideração os dados do sensor de movimentos, i.e., os valores de rotação em torno do eixo longitudinal da plataforma de sondagem (*roll* - θ_R), os

valores de rotação em torno do eixo transversal da plataforma de sondagem (*pitch* - θ_P), a proa da plataforma (α) e a deslocação vertical (arfagem). Ver Figura 3.8 e anexo A.

3.3. Proa

A determinação da proa é essencial nos levantamentos com sistemas de sondagem por varrimento. No entanto, para os levantamentos com sondadores de feixe simples as variações de proa (*yaw)* durante a rotação não são significativas se a antena de posicionamento se encontrar na vertical do transdutor. Quando a antena de posicionamento e o transdutor não se encontram na mesma vertical, é necessário utilizar a proa da plataforma, para posicionar corretamente a profundidades.

Para a medição da proa em tempo real, podem ser utilizados vários equipamentos tais como: girobússolas, agulhas *fluxgate* e DGPS.

A determinação da proa, baseada na fase da portadora, é utilizada nos sensores inérciais integrando informação DGPS. Esta solução permite uma elevada exatidão.

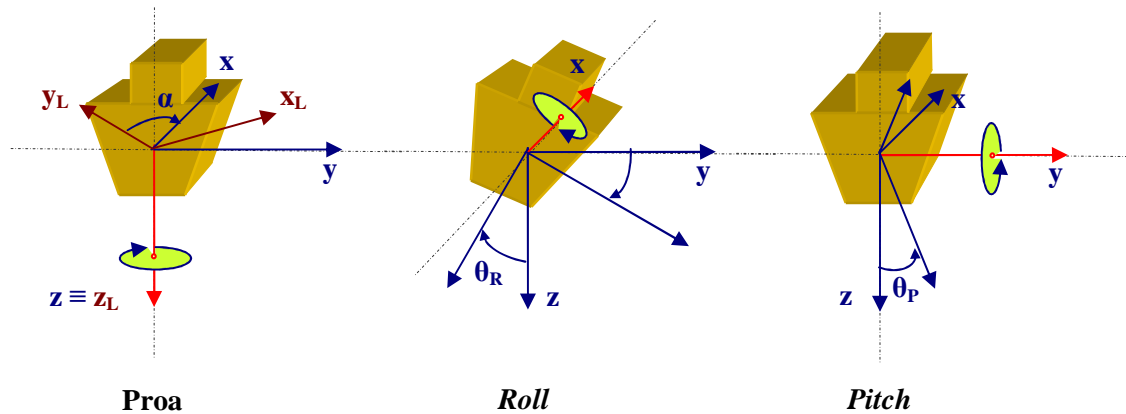



Figura 3.8 "Atitude da plataforma de sondagem"

3.4. Exatidão das medições

A exatidão do *roll*, *pitch*, arfagem e proa deve ser tão elevada quanto possível. Presentemente, os sensores de movimentos são suficientemente exatos para serem utilizados em quase todas as ordens de levantamento. No entanto, os sensores inérciais, quando utilizados isoladamente, apresentam desvios nas medições durante acelerações horizontais (centrípeta ou tangencial) da plataforma, devido ao desvio da vertical aparente.

Para os sondadores multifeixe é recomendada a utilização de sensores inérciais com integração de informação DGPS de forma a minimizar o efeito das acelerações horizontais. Em geral, a exatidão destes sensores, a um nível de confiança de 95%, são da ordem de 0.05º para o *roll* e *pitch*, 0.2º para a proa e 10 centímetros ou 10% da sua amplitude, conforme o maior valor para a arfagem.

Durante as guinadas da plataforma de sondagem, as medições da arfagem são degradadas devido á aceleração centrípeta. Tipicamente, é necessário aguardar, após terminada a guinada, um intervalo de tempo dez vezes o período de corte para se retomar a exatidão das medições da arfagem.

4. TRANSDUTORES

Os transdutores[42] são um dos componentes dos sondadores acústicos. As características do transdutor determinam algumas das características de funcionamento dum sondador. Por esta razão é particularmente importante estudar os seus princípios de operação, e aspectos relacionados, tais como: largura do feixe, directividade, guiamento do feixe, instalação e cobertura.

Os transdutores são os dispositivos utilizados na transmissão e recepção de impulsos acústicos. O seu princípio de operação consiste na conversão de energia elétrica em energia acústica, i.e., os transdutores convertem impulsos elétricos de um gerador de sinais em vibrações longitudinais que se propagam na coluna de água como onda de pressão [Seippel, 1983]. Reciprocamente, durante a recepção, as ondas de pressão são convertidas em impulsos acústicos.

Esta secção apresenta a classificação dos transdutores relativamente ao: princípio de operação, feixe, largura do feixe e instalação. No final desta secção é apresentada uma avaliação da insonificação obtida.

4.1. Classificação Relativamente ao Princípio de Operação

Os transdutores, de acordo com o princípio de operação, são classificados em magnetostritivos, piezoelectricos e electrostritivos.

4.1.1. Magnetostritivos

Estes transdutores apresentam um enrolamento de níquel sobre um eixo de ferro. Um impulso de corrente continua através do eixo gera um campo magnético no enrolamento que produz a sua contração e, consequentemente a redução seu diâmetro. Quando a corrente elétrica ao longo do eixo cessa o enrolamento regressa ao tamanho inicial.

A aplicação de um impulso de corrente alterna conduz à contração e expansão do enrolamento de níquel de acordo com as características do sinal aplicado.

A amplitude da vibração induzida será máxima se a frequência for igual ou relacionada harmonicamente com a frequência natural de vibração ou frequência de ressonância[43] do material do transdutor.

Este transdutor é, no entanto, menos eficiente do que os transdutores que operam pelo efeito piezoelectricos.

4.1.2. Piezoeléctrico

Estes transdutores são constituídos por duas placas com uma camada de cristais de quartzo no meio. A aplicação de um potencial elétrico entre as placas produz uma variação da espessura da camada de quartzo, como função da polarização da corrente aplicada (efeito piezoeléctrico). A diferença de potencial produz a vibração do quartzo e consequentemente a vibração de toda a

---

[42] Por definição, o transdutor é um equipamento utilizado para transmitir impulsos acústicos e para os receber. Em particular, se o equipamento for utilizado unicamente para a transmissão é chamado de projector e se for unicamente utilizado como para a recepção, operando de modo passivo, é chamado de hidrofone.

[43] Este fenómeno corresponde ao forçamento e prolongamento de qualquer movimento de onda, tais como as ondas acústicas. A frequência de ressonância corresponde à frequência em que o transdutor vibra de forma mais eficaz.

unidade. Reciprocamente, a compressão mecânica da camada de quartzo produz uma diferença de potencial entre as duas faces opostas da camada de quartzo.

A amplitude da vibração será máxima se a frequência do potencial elétrico corresponder à frequência natural do quartzo.

4.1.3. Electrostritivo

Estes transdutores baseiam-se no mesmo princípio dos transdutores piezoeléctricos. No entanto, os materiais utilizados (usualmente cerâmicas policristalinas ou certos polímeros sintéticos) não apresentam naturalmente propriedades piezoeléctricas. Assim, durante o processo de fabrico estes materiais necessitam de ser polarizados.

Presentemente, os transdutores utilizados são quase exclusivamente electrostritivos. Estes transdutores são mais leves, reversíveis e podem ser organizados em agregados (*arrays*). Estes agregados compostos de um conjunto de elementos mais pequenos, quando organizados convenientemente, permitem, de acordo com o Teorema do Produto (vd. §4.2), características similares a um transdutor de peça única.

4.2. Largura do Feixe

A pressão gerada por um transdutor, expressa em coordenadas polares, é dada pelo produto:

$$P(r,\theta) = P_{ax}(r) \cdot h(\theta), \qquad \textbf{(3.21)}$$

em que **θ** é o ângulo referido à normal ao transdutor que é a direção de máxima intensidade acústica, **r** é a distância entre um ponto e o transdutor, $\mathbf{P_{ax}(r)}$ é a amplitude da pressão no eixo acústico **e h(θ)** é o fator direcional que corresponde á intensidade relativa do sinal . O fator direcional é normalizado para θ = 0, i.e., h(0) = 1, logo $P(r,0) = P_{ax}(r)$.

A directividade do transdutor é usualmente representada por um diagrama de radiação $B(\theta) = h^2(\theta)$, ou numa escala logarítmica $b(\theta) = 10 \cdot \log_{10}(B(\theta)) = 20 \cdot \log_{10}(h(\theta))$.

O transdutor pode ser caracterizado pela sua largura de feixe $\mathbf{b_w}$; definido como o ângulo do feixe a um nível de -3 dB, i.e., a largura de feixe correspondente a metade da potência ao longo do eixo acústico $\mathbf{b_w = 2\theta_{-3dB}}$, (ver Figura 3.9).

A medição da profundidade é efetuada para qualquer direção dentro do cone definido pela largura do feixe.

A largura do feixe está relacionada com as dimensões do transdutor e com a frequência dos impulsos acústicos. Por exemplo, a largura do feixe para um transdutor com a forma de pistão circular, com diâmetro **D**, é dada aproximadamente por:

$$b_w = 60\ \lambda / D \text{ (graus)}, \qquad \textbf{(3.22)}$$

e para um transdutor de face retangular, de comprimento **L** e largura **W**, a largura do feixe nas duas dimensões são dadas respectivamente por:

$$b_w = 50\ \lambda / L \text{ e } b_w = 50\ \lambda / W \text{ (graus)}, \qquad \textbf{(3.23)}$$

Para um agregado linear de **N** elementos transdutores omnidireccionais separados de uma distância **d**, a soma dos sinais dos elementos transdutores produz um diagrama de radiação direcional (Figuras 3.10 e 3.11).

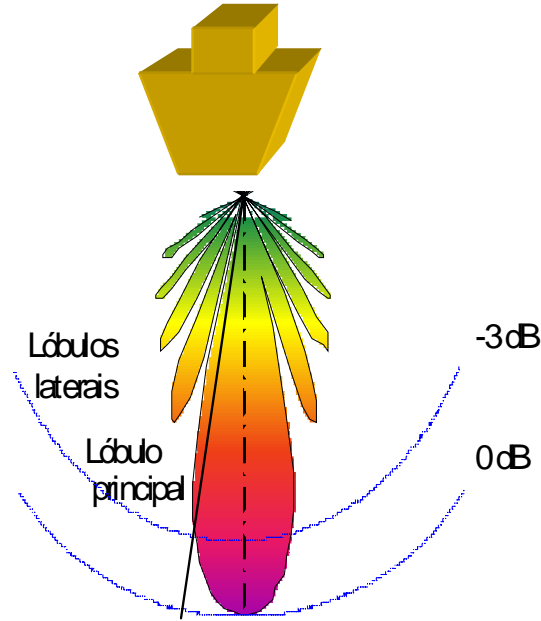



Figura 3.9 "Largura do feixe definida a um nível de -3dB"

A direção do eixo acústico é normal à face do agregado de transdutores. A largura do feixe, a um nível de -3 dB, é dada aproximadamente por:

$$b_w = 50\,\lambda / ((N-1)d) \text{ (graus)}, \tag{3.24}$$

em que λ é o comprimento da onda acústica.

O fator direcional dum agregado de elementos transdutores é dado por [Kinsler et al., 1982]:

$$h_{agregado}(\theta) = \left| \frac{\sin(N\pi \frac{d}{\lambda} \sin\theta)}{N \cdot \sin(\pi \frac{d}{\lambda} \sin\theta)} \right| \tag{3.25}$$

O Teorema do produto – é uma lei da acústica que define o fator direcional de um agregado de **N** elementos transdutores como o produto do fator direcional de um elemento pelo fator direcional do agregado, i.e.,

$$h(\theta) = h_e(\theta) \cdot h_{agregado}(\theta) \tag{3.26}$$

e a amplitude da pressão é dada por:

$$P(r,\theta,\phi) = P_{ax}(r) \cdot h_e(\theta,\phi) \cdot h_{agregado}(\theta,\phi) \tag{3.27}$$

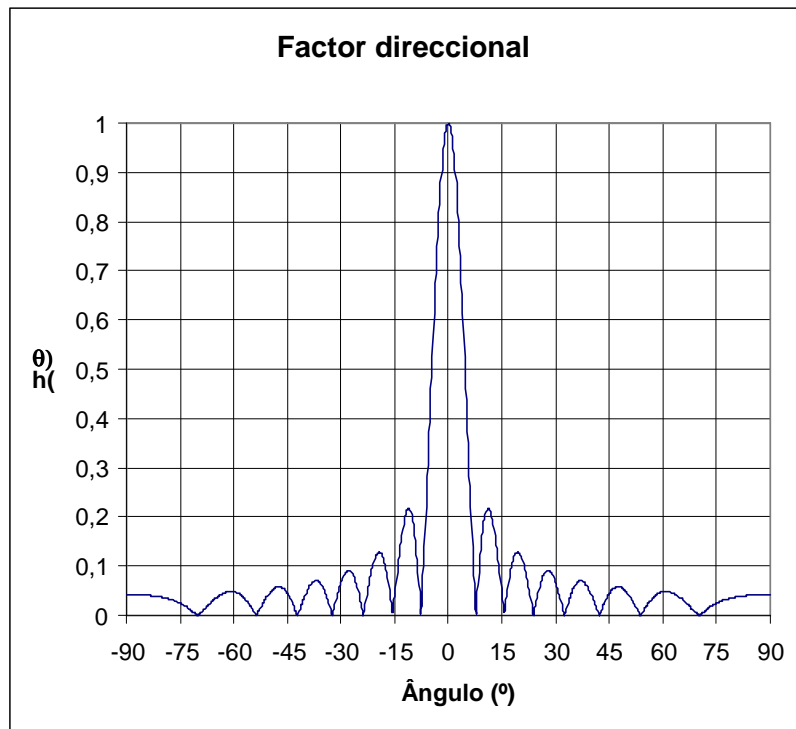



Figura 3.10 "Fator direcional"

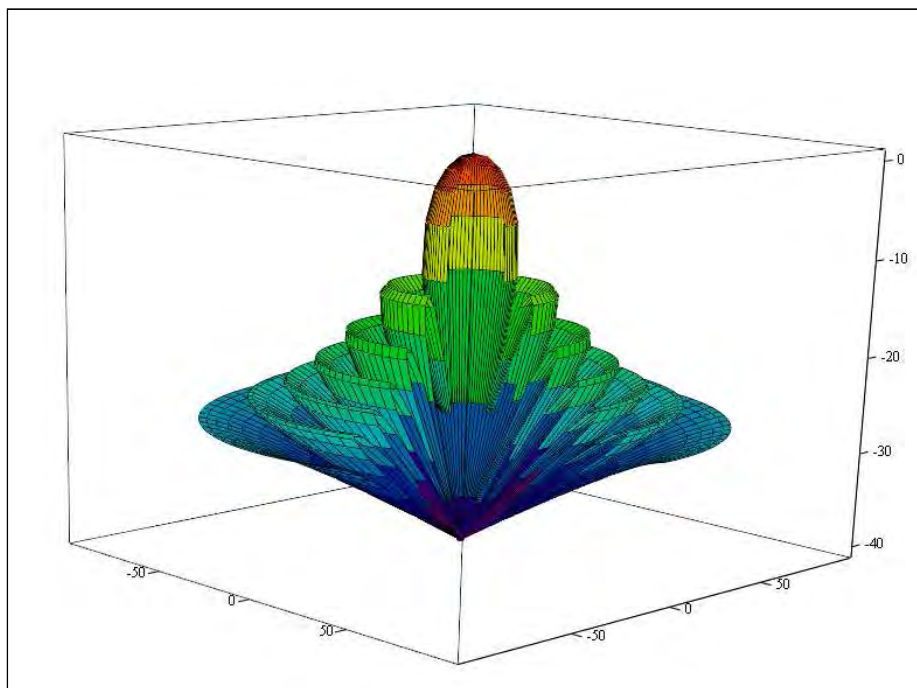



Figura 3.11 "Diagrama de radiação de um feixe formado perpendicularmente à face do transdutor"

Para um elemento linear, o fator direcional é dado por:

$$h_{linear}(\theta) = \left| \frac{\sin(\pi \frac{L}{\lambda} \sin\theta)}{\pi \frac{L}{\lambda} \sin\theta} \right| \quad \textbf{(3.28)}$$

O fator direcional de um agregado de elementos transdutores é apenas válido para o campo longínquo, i.e., em áreas onde as ondas geradas por um elemento central e por um elemento exterior do agregado apresentam uma diferença de fase inferior a 180 graus.

$$k\sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} - kR \leq \pi \quad \textbf{(3.29)}$$

em que **k** é o número de onda, i.e., $k = 2\pi/\lambda$.

Por exemplo, para uma frequência de 100 kHz e um agregado de transdutores de comprimento L = 0.5 m, o campo distante corresponde a distâncias superiores a 4 metros. Este é usualmente o limite para a medição mínima da profundidade.

No campo próximo, os processos de interferência conduzem a uma representação mais complexa da pressão acústica.

O eixo acústico de um transdutor ou de um agregado de elementos transdutores é normal à face do transdutor. Para formar feixes oblíquos à face do agregado de elementos transdutores, é necessário efetuar o guiamento do feixe. Este processo é conseguido através de técnicas de guiamento de feixes.

Um agregado com **N** elementos transdutores omnidireccionais pode guiar um feixe através da introdução de atrasos em tempo ou fase em cada elemento. O correspondente fator direcional é dado por (Figura 3.12):

$$h_{array}(\theta) = \left| \frac{\sin\left[N\pi \frac{d}{\lambda}(\sin\theta - \sin\theta_{ax})\right]}{N \cdot \sin\left[\pi \frac{d}{\lambda}(\sin\theta - \sin\theta_{ax})\right]} \right|, \quad \textbf{(3.30)}$$

O resultado desta equação é um feixe guiado na direção $\boldsymbol{\theta_{ax}}$ (Figura 3.13)

O guiamento do feixe pode ser conseguido através da introdução de diferenças de tempo ou fase nos elementos do agregado (equação 3.31).

O guiamento dos feixes tem dois objetivos: Estabilização do feixe e formação do feixe durante a fase de recepção.

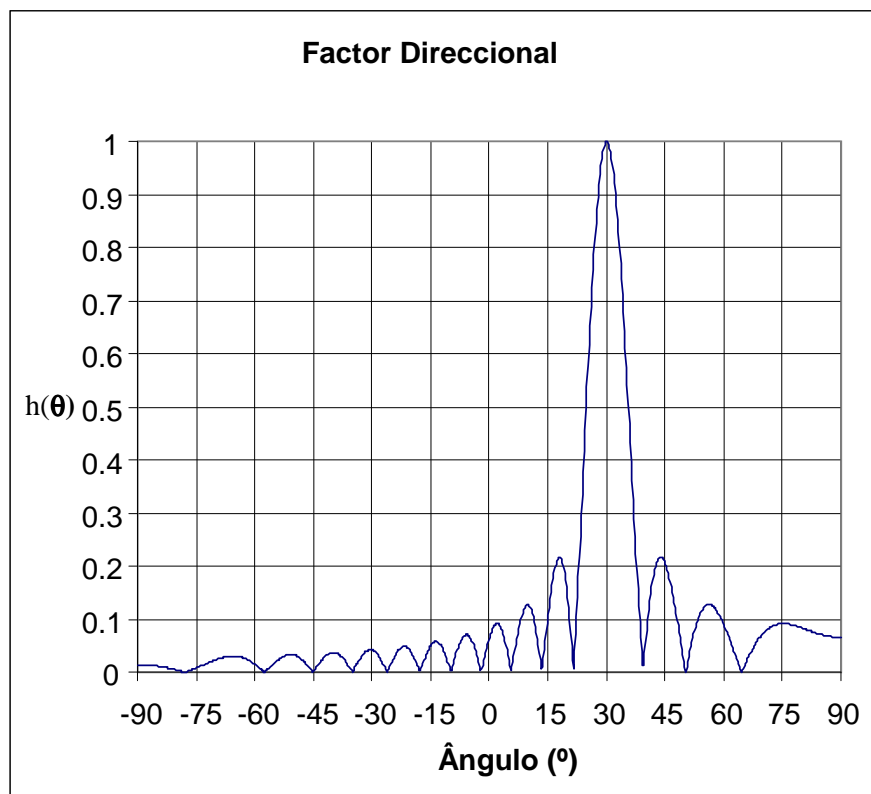



Figura 3.12 " Fator direcional para um feixe guiado 30 graus"

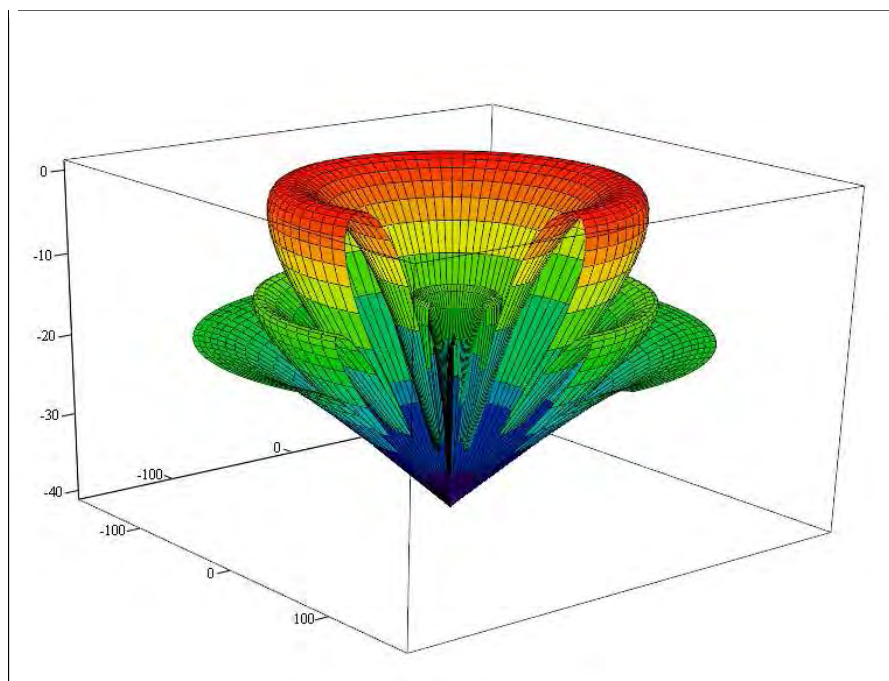



Figura 3.13 "Diagrama de radiação para um feixe guiado 30°"

Para a estabilização do feixe é necessário medir o ângulo referido á normal do agregado, sendo o atraso em tempo dos elementos do agregado dado por,

$$\Delta t_n = \frac{nd}{c}\sin(\theta_{ax}) \qquad \textbf{(3. 31)}$$

Durante a formação do feixe, os sinais de cada elemento do agregado são copiados para cada feixe, o atraso em tempo aplicado a cada elemento para um canal ou feixe especifico é dado por:

$$\Delta t_{n,i} = \frac{nd}{c}\sin(\theta_{ax_i}), \qquad \textbf{(3. 32)}$$

em que **i** é a ordem do feixe e **n** é o número do elemento do agregado.

Considerando dois elementos transdutores adimensionais, transmitindo um impulso com a mesma frequência, mas com atraso em tempo, o eixo acústico é guiado para a direção onde as frentes de onda, provenientes dos dois elementos, chegam ao mesmo tempo (Figura 3.14).

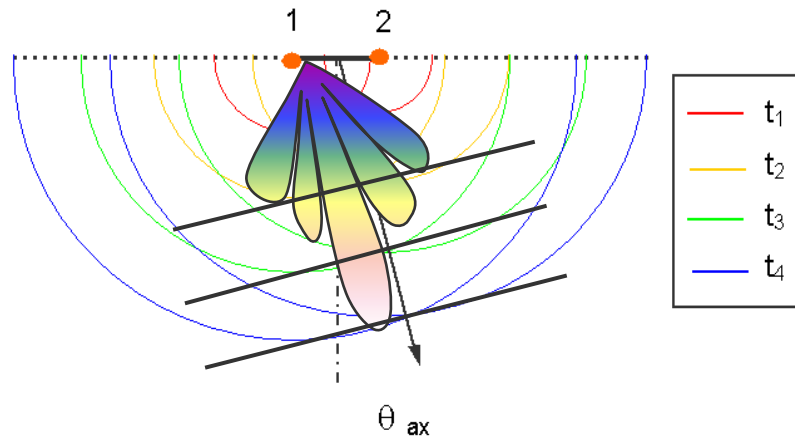



Figura 3.14 "Ilustração do guiamento dum feixe de θ_{ax} com dois elementos transdutores"

A largura do feixe, definida para um nível de -3 dB, aumenta com o ângulo de guiamento do feixe, i.e.,

$$b_{W_i} = 50\frac{\lambda}{(N-1)d\cdot\cos(\theta_{ax_i})}. \qquad \textbf{(3. 33)}$$

Devido à forma cónica do feixe quando guiado, a sua intersecção com o plano do fundo do mar, assumido como horizontal, resulta numa área insonificada hiperbólica (Figura 3.15).

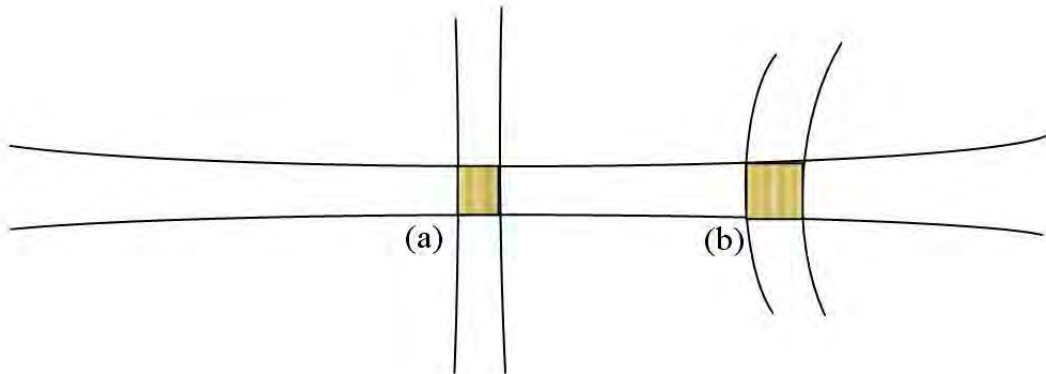



Figura 3.15 "Área insonificada linear (a) e hiperbólica (b) "

Os lóbulos secundários apresentam efeitos indesejáveis, tais como a detecção de ecos correspondentes às direções desses lóbulos. Este é o caso geral dos sondadores multifeixe para ângulos de feixe elevados onde a detecção é efetuada para o nadir ou quando existem áreas rochosas de maior refletividade (Figura 3.16). Este efeito conduz a isóbatas ondulantes que muitas vezes apresentam a forma de "ómega". A redução dos lóbulos é vital para a operação com sucesso dos sondadores multifeixe. Esta redução é obtida por aplicação de ganho variável (*shading functions*) aos sinais detectados pelos vários elementos do agregado de transdutores durante a recepção.

Considerando todos os transdutores com o mesmo ganho, os lóbulos secundários apresentarão um nível de aproximadamente -13 dB. A técnica utilizada para a redução dos lóbulos secundários consiste na sobreposição de uma janela que amplifica os sinais dos diferentes elementos com diferentes ganhos. Estas janelas são usualmente simétricas em relação ao eixo do agregado.

A janela *Dolph-Chebychev* é utilizada com grande frequência; esta janela apresenta a vantagem de otimizar o nível dos lóbulos secundários para uma determinada largura de feixe. Esta janela produz a mesma amplitude para todos os lóbulos secundários.

A desvantagem da aplicação destas janelas é a redução da directividade.

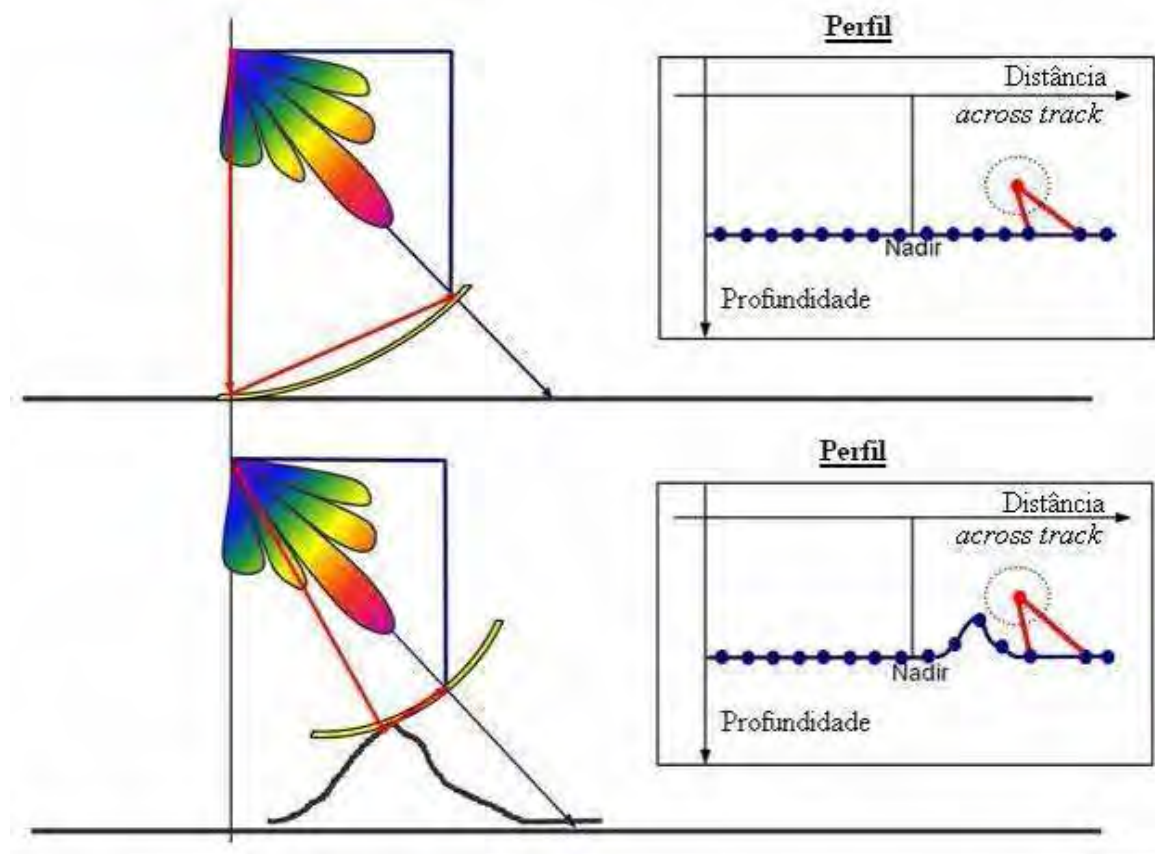



Figura 3.16 "Medição da profundidade através dos lóbulos secundários com consequente erro na medição e na localização da profundidade "

4.3. Classificação Relativamente ao Feixe

Os sondadores acústicos podem ser divididos em feixe simples e multifeixe. Os sondadores de feixe simples podem apresentar um transdutor único ou um agregado de elementos transdutores.

Os sondadores multifeixe apresentam agregados de elementos transdutores. Como referido anteriormente isto é devido á necessidade de formação de feixes em várias direções e, algumas vezes para estabilização dos feixes para compensar a atitude da plataforma.

4.3.1. Feixe simples

O feixe simples requer apenas um transdutor para as funções de transmissão e recepção, mas um agregado de elementos transdutores pode ser utilizado quando requerida a estabilização do feixe. O conhecimento dos ângulos de *roll* e de *pitch* é necessário para a estabilização do feixe.

A largura do feixe é uma função das dimensões do transdutor e do comprimento de onda acústica. O feixe será mais estreito quanto maior a frequência e quanto maior a dimensão do transdutor. Assim, para se obter um feixe estreito em baixas frequências é necessário um transdutor com grandes dimensões.

O transdutor selecionado para um sondador de feixe simples deve ter um feixe estreito quando é necessário elevada directividade ou um feixe largo quando a directividade não for a preocupação principal, mas sim a detecção de profundidades mínimas ou a detecção de obstáculos no fundo do mar.

Os feixes mais largos apresentam capacidade para detectar ecos num maior cone (ou ângulo sólido), o que se reveste de utilidade para a detecção de perigos para a navegação que poderão requer mais investigação futura. Estes feixes não são usualmente estabilizados. ,A atitude do transdutor não influência as medições em condições médias do estado do mar.

Por outro lado, feixes estreitos, tipicamente 2º a 5º, são normalmente requeridos para mapeamento de elevada resolução (Figura 3.17). Estes feixes têm de ser estabilizados para medição correta da profundidade na vertical do transdutor.

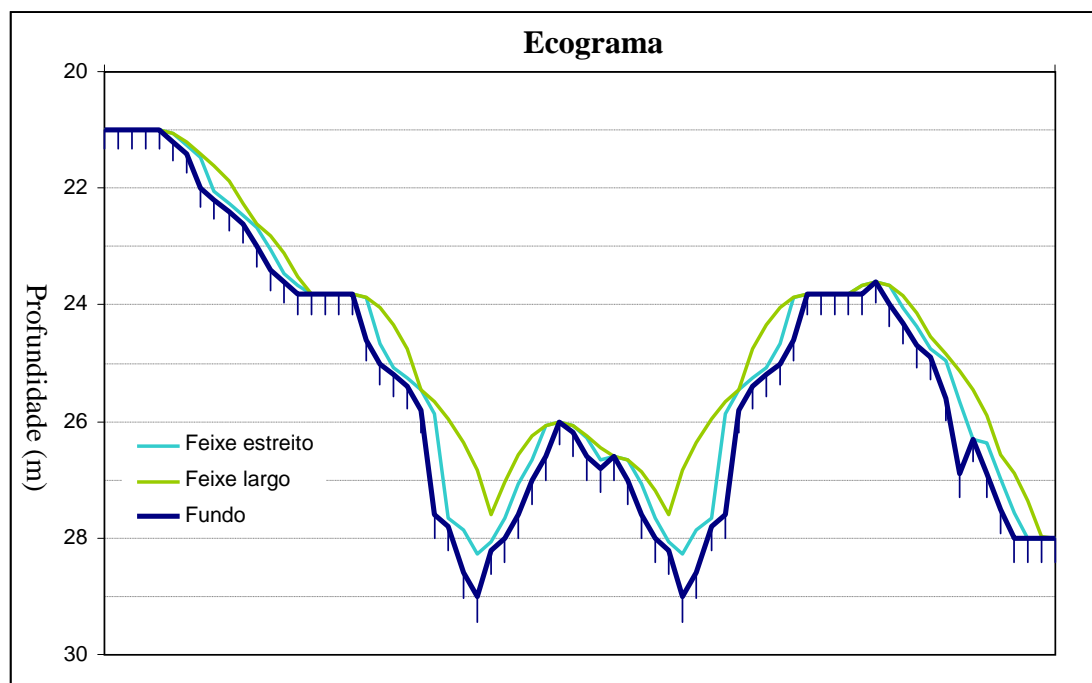



Figura 3.17 "Ilustração da medição da profundidade com um sondador de feixe estreito e de feixe largo."

4.3.2. Multifeixe

Os sondadores multifeixe têm usualmente dois transdutores separados para transmissão e para recepção, i.e., um projetor e um hidrofone. O primeiro é orientado longitudinalmente e o segundo é orientado transversalmente à proa da plataforma de sondagem. O mais usual é a transmissão de um único feixe em forma de leque, estreito na direção proa-popa e largo na direção bombordo-estibordo.

O hidrofone forma vários feixes em direções pré-definidas, estreito bombordo-estibordo e largo proa-popa, garantindo, independentemente da atitude da plataforma de sondagem, a intersecção entre o feixe transmitido e recebido.

4.4. Classificação Relativamente à Instalação

Existem vários tipos de instalação dos transdutores a bordo da plataforma de sondagem. A opção sobre o tipo de instalação depende da portabilidade do sistema, da necessidade de o manter longe das fontes de ruído do navio, incluindo o fluxo de água turbulento abaixo da quilha e a necessidade de o arriar para o aproximar do fundo.

O transdutor pode ser instalado no casco, rebocado ou portátil. Cada uma destas instalações é apresentada a seguir.

4.4.1. Montagem de casco

Esta instalação é usual para os sondadores de feixe simples e para os sondadores multifeixe em navios de maior porte, especialmente para levantamentos em grandes fundos.

A instalação no casco pode ser:

4.4.1.1. Embutido no casco (*Flush mounted*)

O transdutor é montado com a face no plano do casco. Esta opção é utilizada para os transdutores feixe simples e multifeixe. Apresenta como vantagem não necessitar de uma estrutura para a instalação. A desvantagem é a maior proximidade com o ruído do navio.

4.4.1.2. Bolha (*Blister*)

O transdutor é montado numa estrutura em forma de casco. Esta opção é utilizada para os transdutores feixe simples e multifeixe Apresenta como vantagem a redução do efeito do fluxo de água na face to transdutor. A desvantagem é a necessidade de uma estrutura dedicada para a instalação.

4.4.1.3. Gôndola

O transdutor é instalado numa estrutura especial com a forma de gôndola (Figura 3.18). Esta opção é utilizada nos sondadores multifeixe, especialmente para operação em águas profundas. Apresenta como vantagem a redução do ruído devido ao navio e ao fluxo de água na face to transdutor que passa entre o casco e a gôndola. A desvantagem é a necessidade de uma estrutura para a instalação dos transdutores e o aumento do calado da plataforma em cerca de um metro.

4.4.2. Rebocado

A instalação do transdutor é efetuada num peixe rebocado, esta é a instalação utilizada nos transdutores do sonar lateral, apresenta uma redução do ruído e a possibilidade de arriá-lo mais próximo do fundo.

4.4.3. Portátil

Esta instalação é usualmente utilizada para instalações de feixe simples ou multifeixe em embarcações, especificamente para levantamentos em fundos baixos. Esta instalação pode ser

montada na borda ou à proa da embarcação (Figura 3.19). A estrutura de suporte deve ser bem sólida e resistente à torção.

Figura 3.18 "Instalação em gôndola "

Figura 3.19 "Instalação à proa"

4.5. Cobertura

A cobertura do fundo, i.e., a área insonificada com sondador de feixe simples, é a área delimitada pelo feixe, onde a célula insonificada é dada por (Figura 3.20):

$$a = 2 \cdot z \cdot tan\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad \textbf{(3. 34)}$$

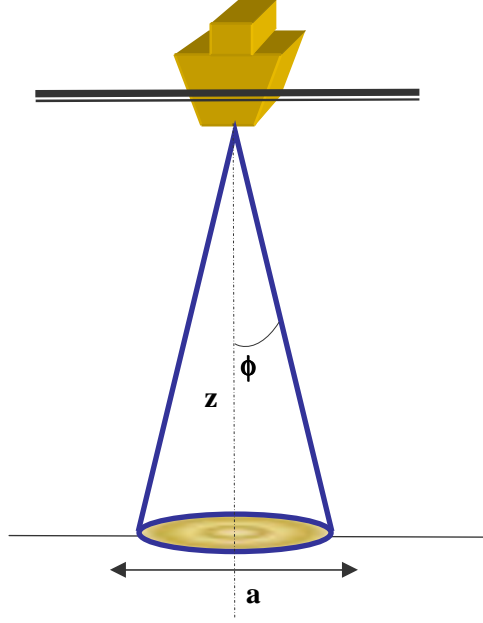



Figura 3.20 "Cobertura do sondador de feixe simples"

Nos sondadores multifeixe a área insonificada corresponde à intersecção entre o feixe transmitido e o feixe formado na recepção. A área insonificada depende do ângulo do feixe, da sua largura, da profundidade e do declive médio do fundo. A área insonificada por cada feixe pode ser aproximada por uma elipse. Considerando um fundo plano e horizontal, o comprimento da elipse na direção transversal à linha de proa é dado aproximadamente por $\mathbf{a_y}$,

$$a_y = \frac{2z}{\cos^2(\beta)} \tan\left(\frac{\phi_R}{2}\right) \quad \textbf{(3. 35)}$$

em que **z** é a profundidade média, $\boldsymbol{\beta}$ é o ângulo do feixe e $\boldsymbol{\phi_R}$ é a largura do feixe formado na recepção na direção transversal à proa do navio. Na presença de um declive, definido por um ângulo $\boldsymbol{\zeta}$, o comprimento da área insonificada é dada aproximadamente por,

$$a_y = \frac{2z}{\cos(\beta)\cos(\beta-\zeta)} \tan\left(\frac{\phi_R}{2}\right) \quad \textbf{(3. 36)}$$

Para um fundo plano, a largura da área insonificada, na direção proa-popa, é dado aproximadamente por $\mathbf{a_x}$,

$$a_x = \frac{2z}{\cos(\beta)} \tan\left(\frac{\phi_T}{2}\right) \quad \textbf{(3. 37)}$$

em que ϕ_T é a largura do feixe transmitido.

A cobertura do fundo é uma função da dimensão das áreas insonificadas, do espaçamento transversal dos feixes, da taxa de transmissão dos impulsos, da velocidade da plataforma de sondagem, da variação da proa (*yaw*), do *pitch*, e do *roll*. Para se obter a insonificação completa do fundo, as áreas insonificadas de impulsos consecutivos devem ter alguma sobreposição, de tal forma que qualquer ponto no fundo seja insonificado, no mínimo, por um impulso acústico.

Num fundo plano, o comprimento da faixa insonificada é dado por:

$$S_w = 2z \cdot \tan\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) \quad \textbf{(3. 38)}$$

em que $\Delta\theta$ é a abertura angular efetiva do feixe transmitido no sentido transversal à proa.

5. SISTEMAS ACÚSTICOS

Esta secção apresenta os sistemas acústicos utilizados em levantamentos hidrográficos. Estes sistemas são divididos de acordo com a sua capacidade cobertura do fundo submarino, ou seja, sondadores de feixe simples e sondadores de varrimento (sondadores multifeixe ou sonares interferométricos[44]).

5.1. Sondadores de feixe simples

Os sondadores acústicos são dispositivos utilizados para a medição da profundidade. A medição é efetuada por observação do intervalo de tempo entre a emissão de um impulso acústico e a recepção do seu eco, após reflexão no fundo submarino.

Tradicionalmente, a principal finalidade do sondador acústico é produzir um registo consistente e de alta resolução do perfil de profundidades do relevo submarino. O ecograma, depois de devidamente analisado e interpretado, é amostrado de forma a reproduzir o perfil do fundo.

Durante a última década, a tecnologia aplicada nos sondadores de feixe simples tem melhorado progressivamente com digitalizadores automáticos, gravadores sem partes móveis e anotação das posições sobre o registo do fundo. Recentemente, a utilização de computadores e processadores de sinal mais sofisticados têm permitido o processamento e visualização em tempo real dos registos do fundo, em vez do registo em papel.

5.1.1. Princípios de funcionamento

Um sondador acústico funciona através da conversão de energia elétrica, do gerador de impulsos, em energia acústica. Como os transdutores não transmitem em todas as direções, a energia acústica é projetada para a água sob a forma de um feixe orientado verticalmente.

O impulso acústico viaja através da coluna de água até embater no fundo. A interação com o fundo resulta em reflexão, transmissão e espalhamento (*scattering*).

Parte da energia refletida, o eco, retorna ao transdutor e é detectada por este. O nível de intensidade do eco diminui rapidamente com o tempo, por essa razão o nível do eco é ajustado automaticamente através do controlo automático de ganho (AGC) ajustado na fábrica e do Ganho

---

[44] Sistema utilizado na determinação da distância a um objecto imerso através da medição do intervalo de tempo entre a transmissão de um impulso acústico e a recepção do eco. O termo sonar deriva das palavras *SOund NAvigation and Ranging*.

Variável no Tempo (TVG) para compensar a diminuição do nível do eco em função do tempo. Após a amplificação, o sinal elétrico gerado na recepção é passado para um detector e comparado com o limiar definido para filtrar o ruído. O sinal resultante é, então, visualizado e/ou gravado.

A observável resultante é o intervalo de tempo entre o impulso transmitido e o eco recebido, **t**, sendo a profundidade medida dada por:

$$z_m = \frac{1}{2} \cdot t \cdot \overline{c} \qquad \textbf{(3. 39)}$$

onde $\overline{c}$ é a velocidade média de som na coluna de água.

5.1.1.1. Parâmetros dos sondadores acústicos

Necessitam de ser corretamente definidos a fim de se obter uma alta resolução e precisão no registo do fundo. Os parâmetros mais importantes são:

a) **Potência -** A gama de profundidades de funcionamento de um sondador acústico depende da duração do impulso, da frequência e potência transmitida. Para otimizar o uso do sondador, a potência transmitida deve ser mantida em valores mínimos, mas que garantam a detecção adequada. O aumento da potência resultará em níveis mais altos do eco, mas também em níveis mais elevados de reverberação, conduzindo a um mau registo. A potência máxima de transmissão é condicionada pelo fenómeno de cavitação[45] e pela resistência máxima à vibração do material transdutor.

b) **Ganho -** O ganho implica amplificação de sinal. A amplificação do sinal também amplifica o ruído e, consequentemente, o registo dos dados pode ser confuso. É recomendável que o ganho seja ajustado de acordo com o tipo de fundo e com a potência de transmissão.

c) **Intensidade do registo** – Este parâmetro é utilizado nos sondadores de registo analógico e serve para ajustar a intensidade de impressão.

d) **Comprimento do impulso** – o comprimento do impulso é habitualmente selecionado automaticamente em função da profundidade. O comprimento do impulso é responsável pela resolução vertical do sondador. Para aumentar a resolução vertical deve-se diminuir o comprimento do impulso. Porém, em zonas com fraca refletividade ou com declives acentuados, poderá ser necessário aumentar o comprimento do impulso.

   Em fundos baixos, onde a resolução vertical é mais importante, devem ser utilizados impulsos curtos. Isso irá reduzir a probabilidade de ecos falsos devido a reverberação forte.

e) **Escala -** Corresponde à escala da profundidade da janela de registo. A largura do papel de registo é fixo; portanto, numa escala pequena ter-se-á uma baixa resolução vertical.

f) **Fase -** A fase é um parâmetro dos sondadores analógicos que permite superar as limitações do registo numa largura fixa de papel. A escala de fase consiste na gravação apenas de uma janela de profundidade que pode ser alterada, manual ou automaticamente, para manter o registo com uma resolução vertical satisfatória independentemente da profundidade (Figura 3.21).

---

[45] Corresponde à produção de bolhas de ar na água. Este fenómeno ocorre quando a pressão acústica se aproxima da pressão hidrostática.

g) **Calado** – Este parâmetro corresponde à imersão do transdutor. O calado deve ser determinado antes de se iniciar a sondagem e verificado regularmente, de forma a se registar a profundidade referida ao nível instantâneo da água.

h) **Velocidade do papel** – a velocidade do papel é particularmente importante quando o registo é exclusivamente analógico e deve ser selecionada de forma a garantir uma boa resolução horizontal das profundidades medidas.

i) **Velocidade de propagação do som na água** – Este é o valor nominal da velocidade do som correspondente à velocidade média de propagação do som na área de sondagem. Nos levantamentos com requisitos de exatidão mais exigentes, a velocidade de propagação do som pode ser regulada para a velocidade do som à face do transdutor ou para 1500 m/s, sendo a profundidade posteriormente corrigida no processamento mediante a aplicação do perfil real da velocidade de propagação do som na coluna de água.

Nos sondadores clássicos de registo analógico, este parâmetro não corresponde à velocidade de propagação do som na água, mas ao valor de calibração dos componentes mecânicos e elétricos do sondador para medir a profundidade correta da água.

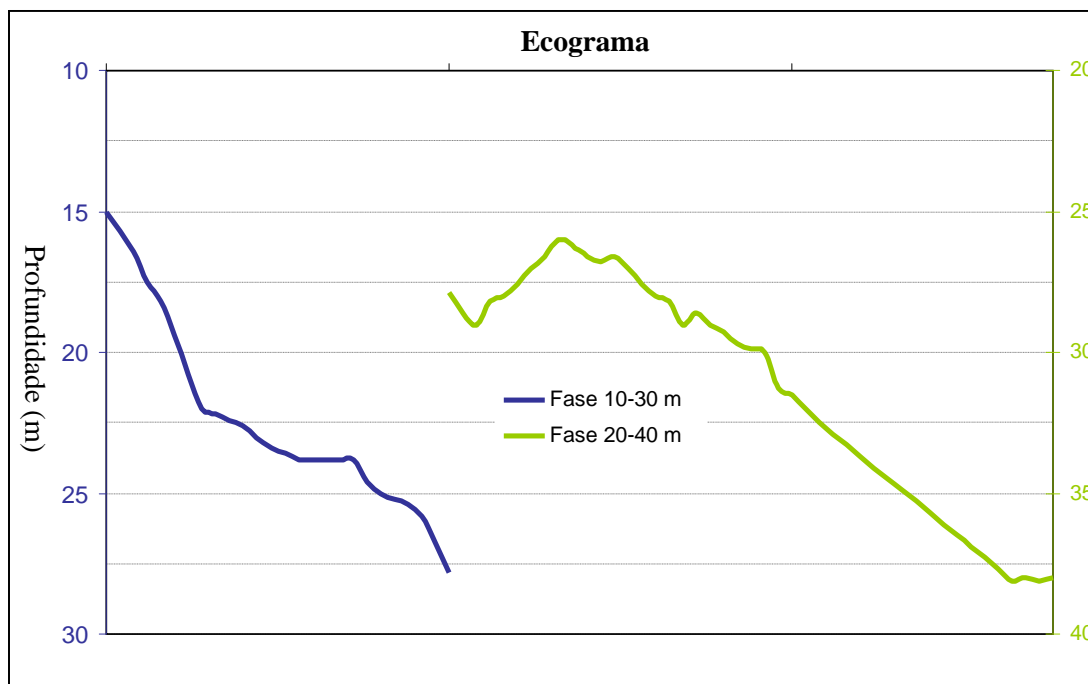



Figura 3.21 "Fases de registo"

Os princípios gerais de funcionamento dos sondadores de feixe simples foram referidos anteriormente. No entanto, é possível diferenciar os sondadores acústicos em dois tipos: digitais e analógicos.

No sondador analógico, cujo esquema é apresentado na Figura 3.22, o ciclo começa com a geração de um impulso elétrico e com a transmissão de energia acústica para a água. Após a recepção e conversão do eco em energia elétrica, o sinal de baixa tensão é pré-amplificado e transmitido a um amplificador de gravação, a fim de ser gravado o ecograma num registo gráfico das profundidades medidas com uma resolução horizontal e vertical adequada. Após concluída a fase gravação, é possível dar início a um novo ciclo.

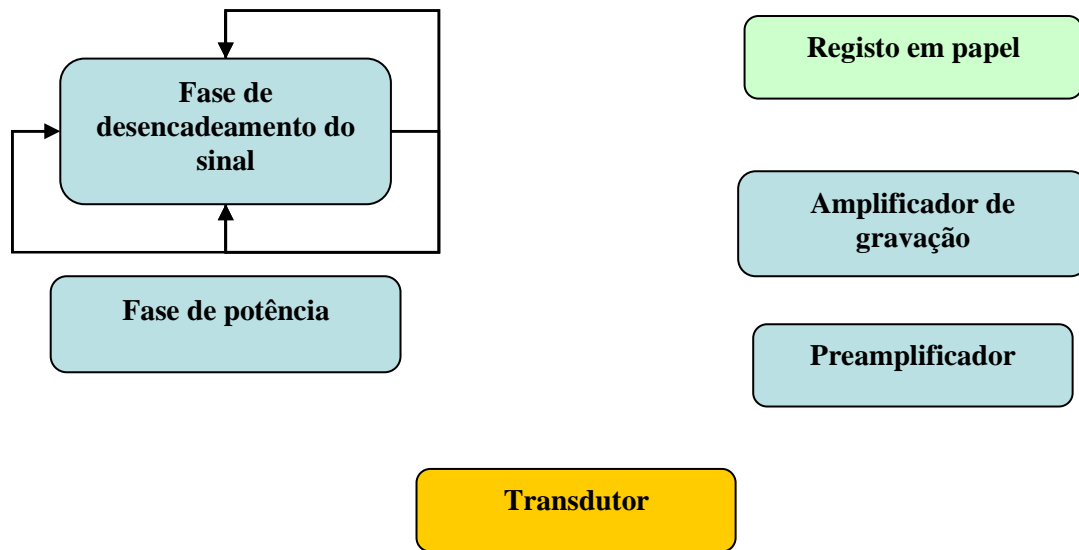



Figura 3.22 "Sondador analógico – diagrama de blocos"

Os sondadores hidrográficos para águas pouco profundas são habitualmente dotados com dois canais (de baixa e alta frequência). A gravação simultânea de duas frequências permite a separação do retorno do fundo marinho correspondente à superfície dos sedimentos não compactados e dos sedimentos compactados ou da rocha devido às diferentes impedâncias acústicas.

O sondador digital, cujo esquema é apresentado na Figura 3.23, funciona de maneira semelhante ao sondador analógico na transmissão do impulso. No entanto, durante a recepção do eco, o sinal recebido é amplificado em função do tempo (ganho variável no tempo) e passa por um detector de envolvente do sinal onde é finalmente convertido no formato digital, que é o sinal que é processado para determinar a profundidade. Isto permite que a informação seja armazenada e visualizada em diversos formatos.

5.1.1.2. Exatidão

A exatidão da medição da profundidade é uma função de vários fatores, do sondador e do meio. Geralmente, é necessário calcular o balanço de erros com base nesses fatores (ver 5.1.4).

5.1.1.3. Resolução

A resolução é a capacidade de diferenciar dois ou mais objetos próximos; é geralmente expressa como a distância mínima diferenciável entre dois. Na medição de profundidade, uma das grandes preocupações é a resolução vertical do sondador, que é dependente de:

a) Comprimento do impulso – quanto maior o comprimento do impulso menor a resolução (ver 2.4.3). Dois objetos dentro de um feixe estreito, se estiverem separados por menos de metade de um comprimento de impulso serão registados como um eco só. E serão resolvidos e registados como dois ecos se estiverem separados por mais do que um comprimento de impulso;

b) Sensibilidade e resolução do suporte utilizado na gravação;

c) Largura do feixe transmitido.

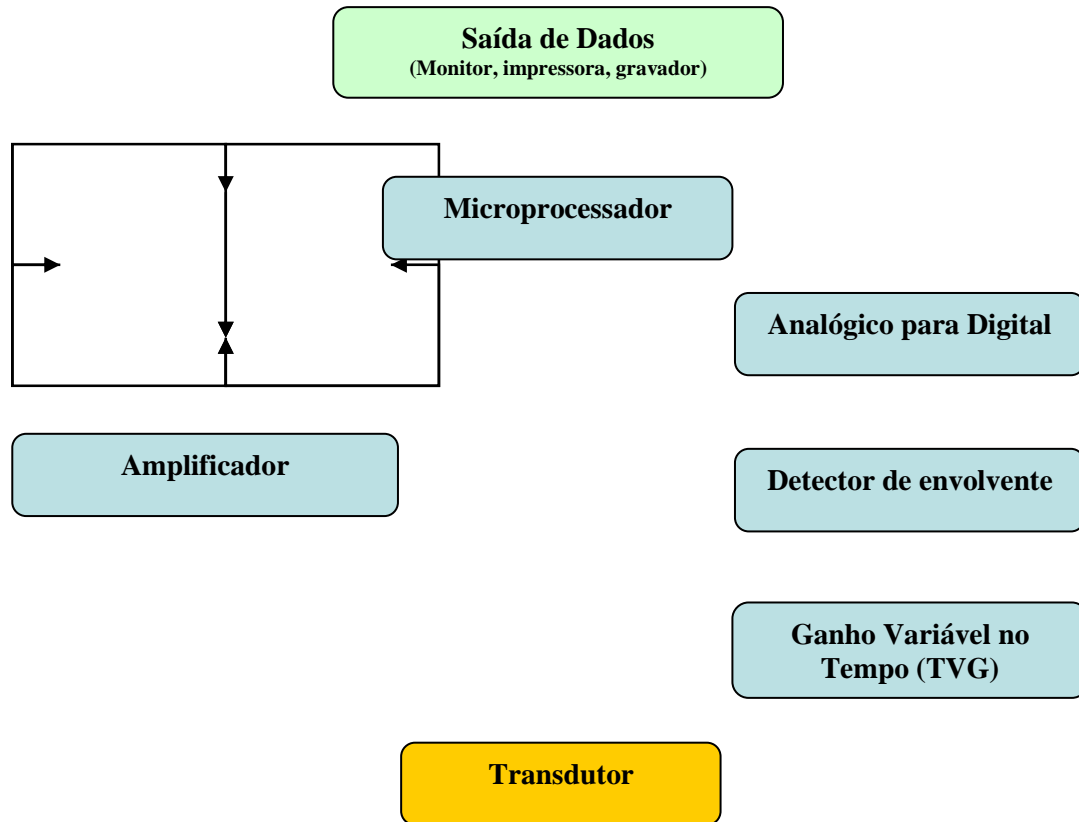



Figura 3.23 "Sondador digital – diagrama de blocos"

5.1.1.4. Frequência acústica

A frequência de um sondador é selecionada com base na utilização prevista do equipamento, ou seja, a profundidade em que deverá ser utilizado. Em alguns casos, é desejável a utilização do mesmo dispositivo em várias profundidades, para o efeito o sondador pode ter mais de um transdutor, de forma a melhorar a aquisição e a qualidade dos dados.

As frequências são frequentemente atribuídas a canais. O sondador com dois canais é utilizado, principalmente, em fundos baixos e águas costeiras. Para águas profundas, é costume usar unicamente uma baixa frequência.

5.1.2. Instalação e calibração

O transdutor pode ser montado no casco, na borda ou à proa. As precauções a ter na instalação são que o transdutor deve ser colocado o mais longe possível das fontes de ruído próprias da plataforma e mergulhado o mais possível para evitar o ruído proveniente da agitação marítima e ficar sempre submerso mesmo em condições de mar adversas. É também muito importante que o transdutor seja bem fixo na vertical.

É também desejável para o compensador de arfagem que a antena de posicionamento seja colocada na vertical transdutor.

A calibração do sondador é uma tarefa rotineira que consiste no ajustamento do equipamento para a medição correta da profundidade. A calibração pode ser realizada através de uma chapa refletora

(*bar-check*) ou com um transdutor especial. O objetivo é selecionar o valor adequado do parâmetro da velocidade de propagação do som de modo a ajustar as medições efetuadas pelos componentes mecânicos e elétricos do sondador. Também é possível corrigir as profundidades medidas através da aplicação do perfil de velocidade de propagação do som na coluna de água em pós-processamento.

Em fundos baixos, a calibração do sondador para a velocidade média de propagação do som na coluna de água pode ser efetuado das seguintes maneiras:

a) *Bar-check* - consiste em arriar uma chapa refletora, a várias profundidades, por baixo do transdutor (por exemplo, a cada dois metros), registando o erro de medição da profundidade, a corrigir durante o processamento dos dados, ou forçando o sondador a registar a profundidade correta atuando no parâmetro de velocidade de propagação do som na água (Figura 3.24). Neste caso, o valor adotado para a calibração deve corresponder à média das observações. Este método deve ser utilizado até profundidades de 20-30 m.

b) Transdutor de calibração – destina-se à calibração dos sondadores acústicos, tendo por base o conhecimento do comprimento exato do percurso efetuado pelos impulsos acústicos no equipamento. O processo de calibração consiste em forçar o registo correto do percurso dos impulsos acústicos, em ambos os sentidos, no interior do equipamento por ajuste do parâmetro da velocidade de propagação do som na água. O transdutor de calibração deve ser arriado a várias profundidades, em cada profundidade é efetuado o ajustamento para o registo correto do duplo trajeto dos impulsos acústicos no interior do equipamento. Devido ao tipo de medição realizada, cada medição é apenas válida para a profundidade correspondente. O valor adotado para a calibração deve corresponder à média de todas as observações. Este método deve ser utilizado até profundidades de 20-30 m.

c) Um método combinado pode também ser utilizado com um transdutor de calibração e um perfilador da velocidade de propagação do som. Este método é geralmente usado para profundidades superiores às consideradas nos métodos anteriores. Com um perfil de velocidade de propagação do som e com o ajustamento do sondador para a medição correta do duplo trajeto no transdutor de calibração, pode ser seguido um procedimento semelhante ao descrito em b). Nos sondadores mais modernos o parâmetro da velocidade de propagação do som corresponde efetivamente ao valor real da velocidade de propagação do som.

   A correção da profundidade é calculada durante o processamento de dados, com o pressuposto de que os dados foram adquiridos utilizando a velocidade verdadeira de propagação do som medida á profundidade do transdutor. A correção à profundidade é baseada na diferença entre a velocidade de propagação do som usada durante a aquisição dos dados e a velocidade média harmónica calculada para cada profundidade a partir do perfil de velocidade de propagação do som observado.

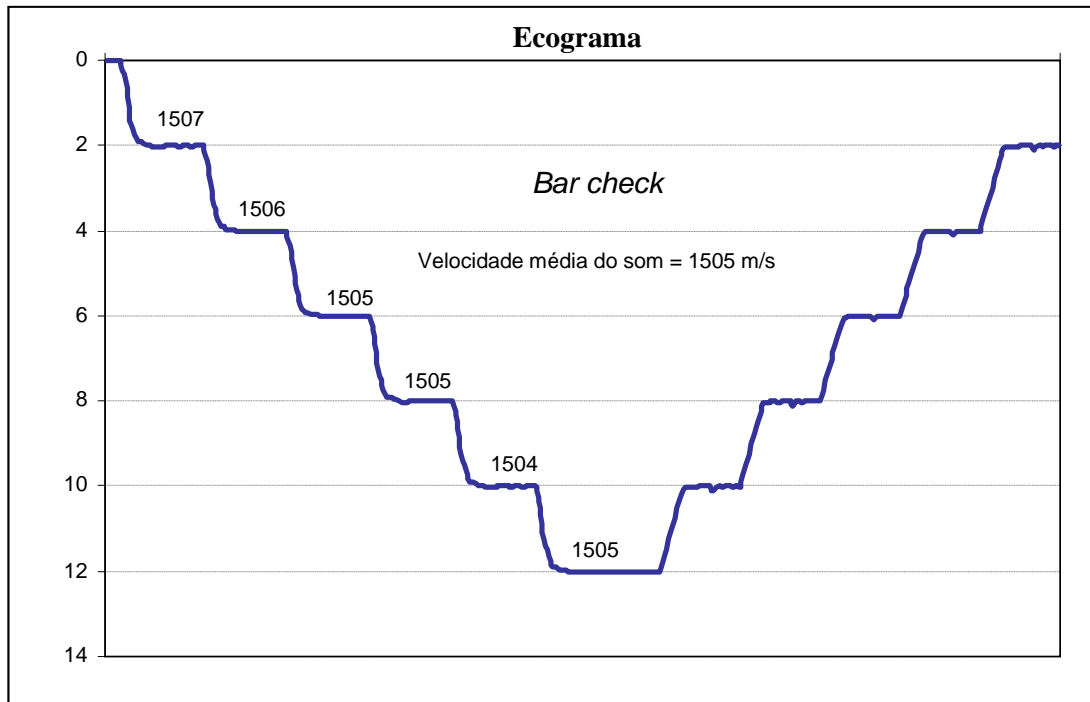



Figura 3.24 "Ilustração do método de calibração por *bar-check* "

Para profundidades superiores a 200 metros, não é necessária corrigir as profundidades da velocidade de propagação do som na água. Um padrão usualmente utilizado é o valor médio de velocidade de propagação do som de 1500 m/s ou utilização de valores estatísticos como por exemplo os apresentados nas Tabelas de Mathews (NP 139).

5.1.3. Operação e registo de dados

A operação dos sondadores acústicos deve ser remetida para o manual de utilização. No entanto, é importante salientar os seguintes aspectos:

- Antes do início da sondagem, é necessário calibrar o sondador para a velocidade de propagação do som na água atual;
- Deve ser selecionada uma escala geral adequada para as profundidades esperadas;
- A frequência deve ser escolhida de acordo com as profundidades de operação;
- Quando for utilizado um sondador de registo analógico, é essencial parametrizar o ganho e a intensidade do registo para que permitam um ecograma legível.

5.1.4. Fontes de erro e técnicas de controlo de qualidade

Os erros na determinação da profundidade podem ser divididos em três categorias: erros grosseiros, erros sistemáticos e erros aleatórios.

Erros grosseiros correspondem aos erros cometidos pelas máquinas, devido a defeitos dos componentes mecânicos ou eletrónicos.

Erros sistemáticos são principalmente o resultado de deficiências da compensação dos erros fixos ou de desvios nas medições (erros que variam em função das condições de operação), como por exemplo na medição dos movimentos da embarcação, desalinhamento do transdutor e do sensor de movimentos e incerteza nos ângulos de montagem. Estes erros podem ser facilmente corrigidos

se a forma e grandeza destes erros sistemáticos for conhecida. Esta categoria de erros pode ser determinada e removida durante a calibração do sistema.

Depois da remoção dos erros grosseiros e sistemáticos nas profundidades medidas, permanecerão ainda os erros aleatórios. Estes erros podem ser analisados utilizando técnicas estatísticas.

Os hidrógrafos devem estar conscientes das fontes que contribuem para o erro da profundidade e quais os impactos de cada fonte de erro. Esta secção identifica várias fontes de erros e apresenta algumas técnicas utilizadas para controlo de qualidade.

5.1.4.1. Devido ao declive do fundo

Tendo em consideração os diferentes declives do fundo oceânico (Figura 3.25) o erro na medição da profundidade, **dz**, depende da largura do feixe e da inclinação do fundo. Se nenhuma correção for aplicada, o erro em profundidade, será dada por:

$$dz = \begin{cases} z_m(\sec(\zeta) - 1) & \zeta < \dfrac{\phi}{2} \\ z_m\left(\sec\left(\dfrac{\phi}{2}\right) - 1\right) & \zeta > \dfrac{\phi}{2} \end{cases} \qquad \textbf{(3. 40)}$$

em que ϕ é a abertura do feixe e ζ é o declive do fundo.

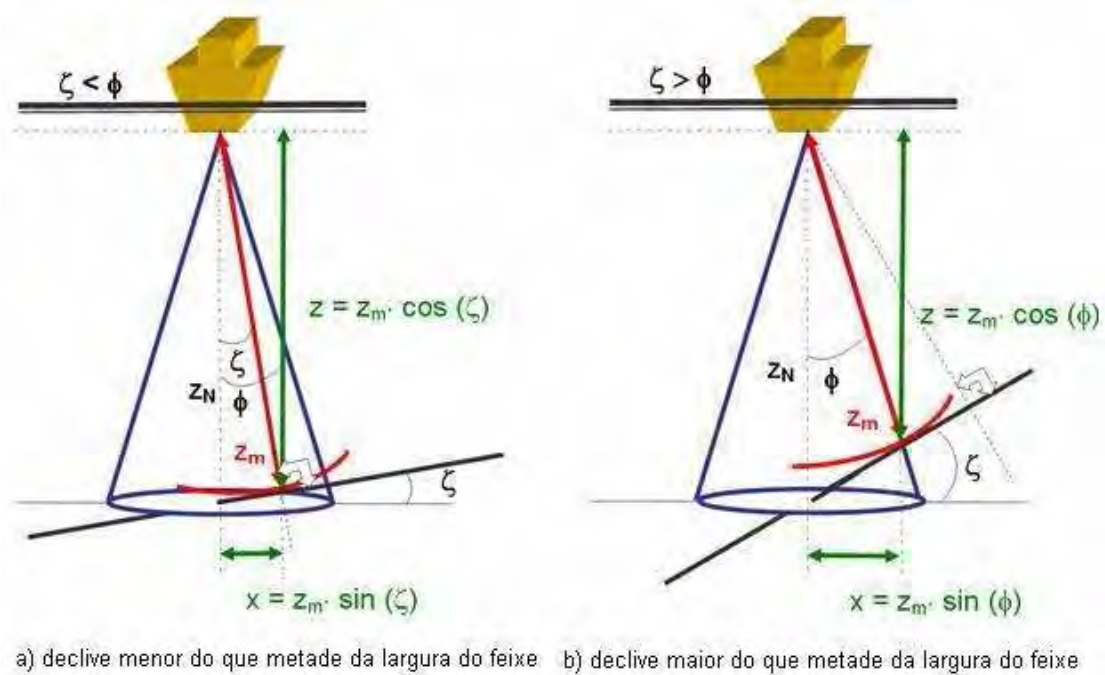



Figura 3.25 "Efeito da abertura do feixe e do declive na medição e no posicionamento das profundidades"

5.1.4.2. Devido á velocidade de propagação do som

A variação da velocidade de propagação do som é difícil de controlar e produz, nos sondadores de feixe simples, erros na medição da profundidade ($\mathbf{dz_m}$) proporcionais à variação média da velocidade de propagação do som (**dc**) e à profundidade,

$$dz_c = \frac{1}{2} \cdot t \cdot dc \qquad \textbf{(3. 41)}$$

ou

$$dz_c = z \cdot \frac{dc}{c} \qquad \textbf{(3. 42)}$$

A magnitude do erro devido à variação da velocidade de propagação do som na água varia com:

a) Incerteza na determinação da velocidade de propagação do som;

b) Variação temporal da velocidade de propagação do som;

c) Variação espacial da velocidade de propagação do som.

De notar que a variância da profundidade medida, σ_{zc}^2, devido à incerteza na determinação da velocidade de propagação do som e à sua variação temporal e/ou espacial, é dada por:

$$\sigma_{zc}^2 = \left(\frac{z}{c}\right)^2 \left(\sigma_{cm}^2 + \sigma_c^2\right) \qquad \textbf{(3. 43)}$$

em que σ_{cm}^2 é a variância da medição da velocidade de propagação do som e σ_c^2 é a variância da velocidade de propagação do som devido à sua variação espacial e temporal.

A variação temporal e espacial da velocidade de propagação do som na água é uma importante contribuição externa nos erros de medição da profundidade. É importante que, durante o planeamento dos levantamentos ou no início da sondagem, sejam efetuados vários perfis de velocidade de propagação do som na água distribuídos pela área a levantar e ao longo do dia (com particular atenção aos ciclos da maré) por forma a assistir o hidrógrafo na decisão da frequência e na localização dos perfis de velocidade de propagação do som a executar durante o levantamento.

5.1.4.3. Devido à medição do tempo

Um sondador acústico mede efetivamente o tempo, convertendo essa medição em profundidade. O erro na medição do tempo, **dt**, está diretamente relacionado com o erro em profundidade, $\mathbf{dz_t}$. Na geração mais recente de sondadores acústicos o erro na medição do tempo é geralmente pequeno e constante. Este erro é calculado durante a calibração.

$$dz_t = \frac{1}{2} c \cdot dt \qquad \textbf{(3. 44)}$$

O maior erro na medição do tempo é função da identificação do instante do eco que corresponde à medição da profundidade, ou seja, aos algoritmos utilizados para a detecção do eco.

De notar que a variância da profundidade devido ao erro na medição do tempo, $\sigma_{z_t}^2$, é dada por,

$$\sigma_{zt}^2 = \left(\frac{1}{2} c\right)^2 \sigma_{tm}^2, \qquad \textbf{(3. 45)}$$

em que σ_{tm}^{2} é a variância da medição do tempo.

5.1.4.4. Devido ao *roll, pitch,* e *heave*

O *roll* e o *pitch* contribuem para o erro na medição da profundidade quando a sua magnitude é superior a meia largura do feixe, ϕ/2. A Figura 3.26 ilustra o erro na profundidade e no posicionamento devido ao *roll*, θ_R. Esta figura pode ser adaptada para o *pitch* através da permuta de θ_R por θ_P.

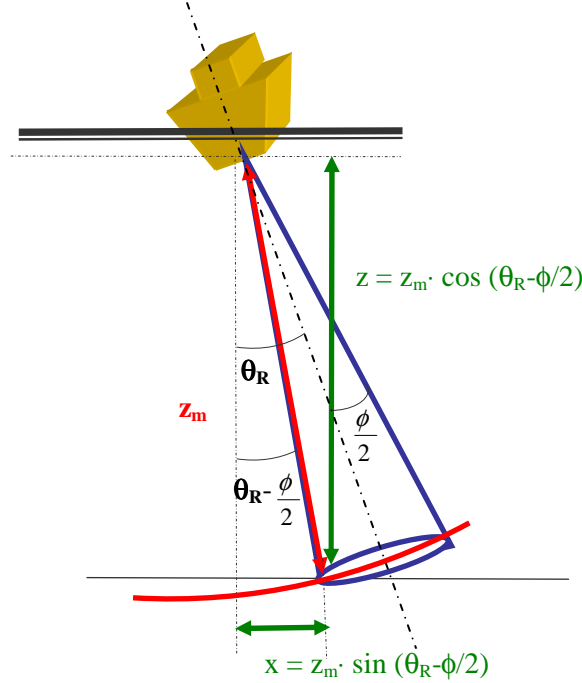



Figura 3.26 "Efeito da largura do feixe e do *roll* na medição da profundidade e no posicionamento "

Os sondadores com largura de feixe elevada são geralmente imunes aos efeitos do *roll* e *pitch* da plataforma de sondagem.

Nos sondadores de feixe estreito, o *roll* e o *pitch* podem ser compensados através da estabilização do feixe, ou seja, mantendo o feixe na vertical, independentemente da atitude da embarcação ou da profundidade, ou corrigindo a profundidade medida da seguinte forma:

$$dz_{roll} = \begin{cases} z_m\left(1 - \sec(\theta_R - \frac{\phi}{2})\right) & \theta_R > \frac{\phi}{2} \\ 0 & \theta_R < \frac{\phi}{2} \end{cases} \qquad \textbf{(3. 46)}$$

A arfagem/*heave* (**h**), efeito causado pela ação do mar sobre a plataforma de sondagem, é medido com sensores inérciais ou com compensadores de arfagem. O compensador de arfagem deve ser colocado na vertical dos transdutores para medir a arfagem efetiva do transdutor.

Quando se utilizarem sensores inérciais, a instalação deve ser efetuada próximo do centro de gravidade da plataforma. Com os braços a partir do centro de gravidade para o transdutor e com as medições instantâneas de *roll* e de *pitch*, o *heave* medido, $\mathbf{h_m}$, pode ser transferido para a posição do transdutor, $\mathbf{h_t}$, através da aplicação do *heave* induzido, $\mathbf{h_i}$, (Figura 3.27).

$$h_t = h_m + h_i \tag{3. 47}$$

Para calcular o *heave* induzido, considera-se a plataforma como um corpo rígido que pode rodar livremente em torno dos três eixos (x, y, z) no referencial da plataforma (identificado com o subscrito **V**) como mencionado em 3. A rotação (em *roll* e *pitch*) do centro de gravidade, próximo do qual é medido o *heave*, traduz-se na variação da profundidade do transdutor no referencial local (identificado com o subscrito **L**). Esta variação vertical do transdutor no referencial local é chamada *heave* induzido.

O *heave* induzido, adaptado de Hare [1995], para os referenciais definidos em 3 e no Anexo A, é dada por:

$$h_i = z_t^L - z_t^V = -x_t^V \sin(\theta_P) + y_t^V \cos(\theta_P)\sin(\theta_R) + z_t^V(\cos(\theta_P)\cos(\theta_R) - 1) \tag{3. 48}$$

Onde θ_P é ângulo de *pitch*, θ_R é o ângulo de *roll*, e $\mathbf{x_t}$, $\mathbf{y_t}$ e $\mathbf{z_t}$ são as coordenadas do transdutor.

O erro total na medição da profundidade devido ao *heave* é dado por,

$$dh = dh_m + dh_i \tag{3. 49}$$

Onde $\mathbf{dh_m}$ é o erro na medição do *heave* e $\mathbf{dh_i}$ é a o erro na determinação do *heave* induzido.

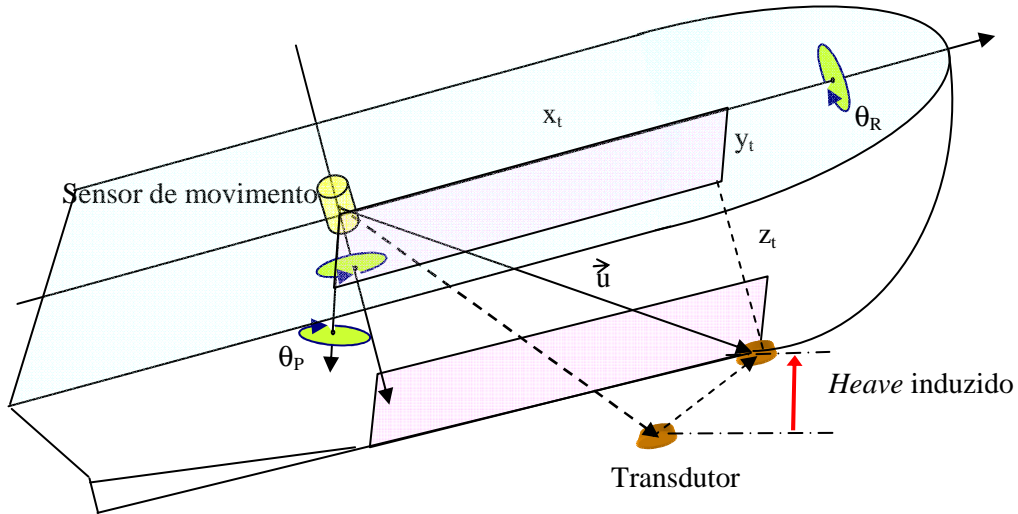



Figura 3.27 "*Heave* induzido"

A variância do *heave* induzido depende da incerteza nos desvios (*offsets*) do transdutor e do sensor de movimentos e da incerteza das medições dos ângulos de *roll* e de *pitch* [Hare, 1995].

A variância total do *heave* corresponde à variância em profundidade, σ_h^2 , dada por,

$$\sigma_h^2 = \sigma_{hm}^2 + \sigma_{hi}^2 \tag{3. 50}$$

em que σ^2_{hm} é a variância da medição do *heave*, σ^2_{hi} é a variância do *heave* induzido. Este último erro é usualmente insignificante quando comparado com a incerteza na medição do *heave*.

Quando não for utilizado um compensador de arfagem, é possível suavizar os dados no ecograma analógico manualmente. Esta tarefa exige uma experiência considerável na interpretação do registo da profundidade, a fim de preservar as características do relevo submarino. O procedimento geral, em condições de *roll* não significativo, o desempolamento do registo do fundo deve ser efetuado a meio das cristas e das cavas (Figura 3.28).

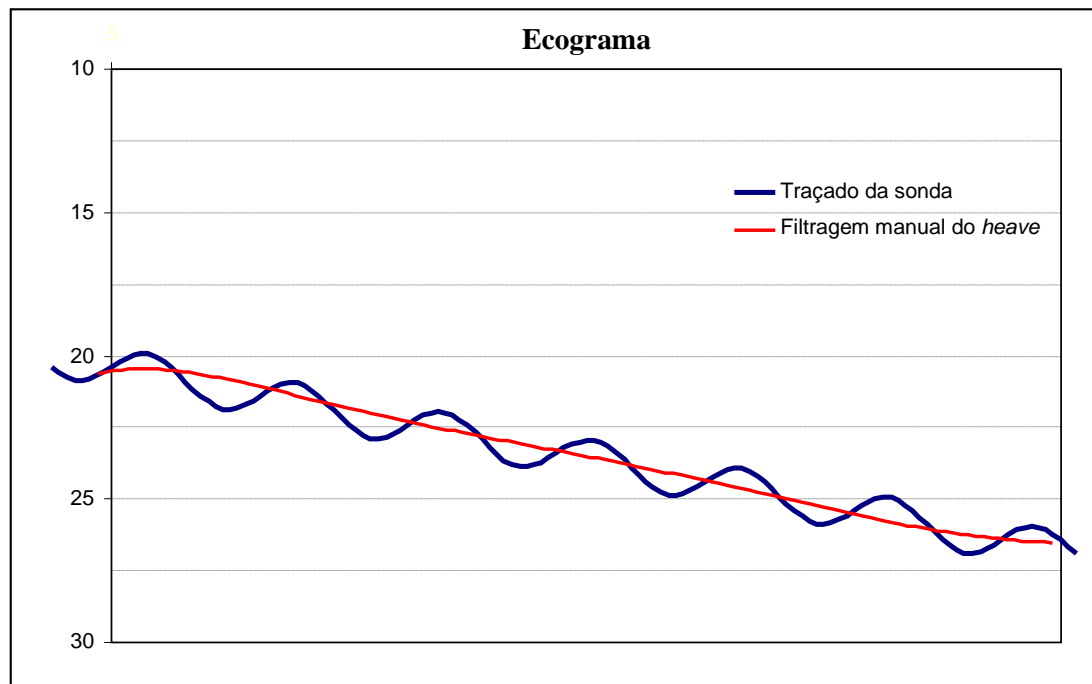



Figura 3.28 "Suavização do efeito do *heave*"

5.1.4.5. Devido ao calado, assentamento e variação dinâmica do caimento

A medição rigorosa da imersão do transdutor é fundamental para a exatidão da profundidade medida. Mesmo assim, devido á variação do calado, pode ser necessário atualizar a imersão do transdutor durante o levantamento. As razões para a variação do calado são principalmente devido ao consumo de água e de combustível. A variação do calado, para o mesmo deslocamento, aumenta com a diminuição da área de flutuação na superfície do mar. O erro no calado propaga-se diretamente como erro de medição da profundidade, $\mathbf{dz_{draught}}$.

O assentamento/*settlement* é o aumento do calado de uma embarcação, relativamente ao seu calado em repouso. Este efeito, particularmente visível em águas pouco profundas, deve-se à redução da pressão da água junto às obras vivas do navio. O erro na medição da profundidade devido ao assentamento é $\mathbf{dz_{settlement}}$.

A variação dinâmica do caimento/*squat* é outro dos efeitos que ocorre em condições dinâmicas, a variação dos calados a vante e a ré como resposta à elevação e depressão do nível de água sobre o casco resultante dos sistemas de ondas à proa e à popa. Nos navios hidrográficos onde o *squat* seja significativo, é geralmente calculada uma tabela de *squat* em função da velocidade do navio. O erro na medição da profundidade devido ao *squat* é $\mathbf{dz_{squat}}$.

A posição relativa do transdutor relativamente ao sensor de movimentos ou compensador de arfagem necessita de ser tomada em consideração para corrigir a profundidade medida devido ao *heave* induzido, ver 5.1.4.4.

O erro total devido à posição do transdutor relativamente à superfície da água, $\mathbf{dz_i}$ é:

$$dz_i = \sqrt{dz^2_{draught} + dz^2_{settlement} + dz^2_{squat}} \quad \mathbf{(3.\ 51)}$$

A variância total da profundidade devido à imersão do transdutor é dada por,

$$\sigma^2_i = \sigma^2_{draught} + \sigma^2_{settlement} + \sigma^2_{squat} \quad \mathbf{(3.\ 52)}$$

em que $\sigma^2_{draught}$ é a variância do calado, $\sigma^2_{settlement}$ é a variância do assentamento e σ^2_{squat} é a variância do *squat*.

5.1.4.6. Registo e resolução

O registo e a resolução das profundidades medidas dependem do modo de funcionamento do sondador. No caso do registo analógico, o operador deve, durante a aquisição de dados, selecionar os parâmetros adequados para obter, tanto quanto possível, um ecograma legível e com a resolução adequada. Por outro lado, o registo digital já não tem um tal grau de dependência do operador, mas é recomendável monitorização na aquisição de dados.

No registo em papel, é necessário selecionar o ganho e intensidade para legibilidade do registo, assim como uma escala vertical, com suficiente discriminação. Por essa razão é também comum o uso de escalas de fase (ver 5.1.1.1).

O ecograma em papel deve ser preparado para a leitura; esta tarefa consiste em identificar os pontos do fundo marinho que serão selecionados para leitura da profundidade. Isso é geralmente realizado com o auxílio de uma mesa digitalizadora.

O erro associado à leitura do ecograma depende da experiência e do cuidado do hidrógrafo. Considerando um papel de registo com uma largura de 20 centímetros e escala geral 0-200 metros, um erro de leitura de 0,5 mm irá produzir um erro na profundidade de 0,5 metros. Por isso, esta escala não é adequada para o registo de profundidades em fundos baixos. O erro de leitura é $\mathbf{dz_{read}}$, com variância, σ^2_r.

5.1.4.7. Interpretação do ecograma

É uma responsabilidade do hidrógrafo. A interpretação requer experiência para identificação de formas particulares, ecos múltiplos e ecos falsos.

a) **Ecos falsos** – são causados por material estranho em suspensão, tais como algas marinhas ou peixes na coluna de água (Figura 3.29), por camadas de água com bruscas variações de temperatura, salinidade ou ambas.

   Ecos falsos são ocasionalmente registados pelos sondadores e podem ser interpretados erroneamente como profundidades corretas. Em caso de dúvida sobre a validade dessas profundidades, deve ser efetuada uma investigação dessas sondas ou, eventualmente, repetida parte da sondagem.

Figura 3.29 "Ecos falsos"

b) **Ecos múltiplos** – são ecos recebidos após o primeiro retorno do fundo, devido a reflexões múltiplas entre o fundo e a superfície. Estas reflexões são usualmente registadas como múltiplos da profundidade real. (Figura 3.30).

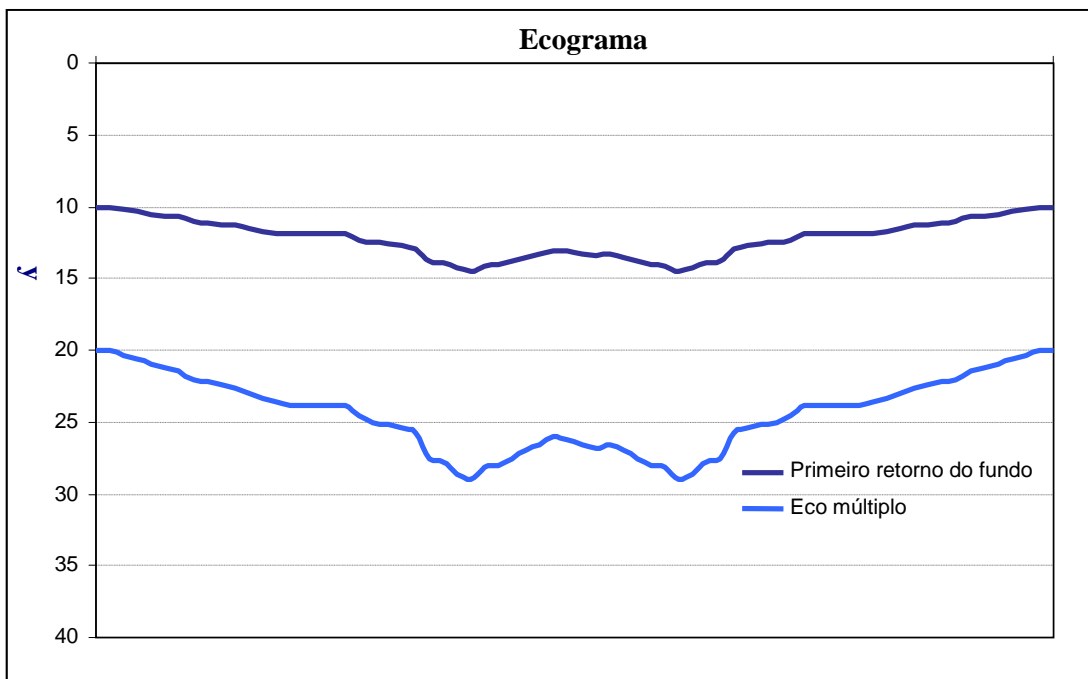



Figura 3.30 "Registo de ecos múltiplos"

c) **Arfagem/*heave*** – a oscilação vertical da plataforma de sondagem devido ao efeito do mar, deve ser compensada durante a aquisição de dados por um sensor de movimentos ou compensador de arfagem ou filtrado manualmente durante o pós-processamento. A experiência do hidrógrafo é a ferramenta utilizada para este efeito, embora seja por vezes difícil, em particular em fundos irregulares, distinguir o *heave* da irregularidade do fundo.

d) **Ecos laterais** – são ecos falsos detectados pelos lóbulos secundários, que levam a erros na medição da profundidade e no posicionamento (ver 4.2).

e) **Sedimentos não consolidados** – são usualmente detectados pelas frequências acústicas elevadas. Em fundos baixos é recomendável a utilização de sondadores acústicos com duas frequências para separação dos sedimentos não consolidados e do fundo rochoso (Figura 3.31).

5.1.4.8. Redução da profundidade

As medições de profundidade, após corrigidas da atitude da plataforma, são reduzidas para o *Datum* vertical através da aplicação da maré. O erro na profundidade devido ao erro de medição da maré é referido como $\mathbf{dz_{tide}}$.

Além do erro na medição da maré, existe por vezes um erro, mais significativo que é o erro da concordância da maré, que resulta da diferença da maré entre a área da sondagem e a maré medida no marégrafo. O erro em profundidade devido à concordância da maré é $\mathbf{dz_{co\text{-}tidal}}$. Esta diferença pode ser bastante significativa a várias milhas de distância do marégrafo (ver Capítulo 4). Por vezes poderá ser necessário utilizar um modelo de concordâncias da maré ou médias ponderadas a partir de dois ou mais marégrafos.

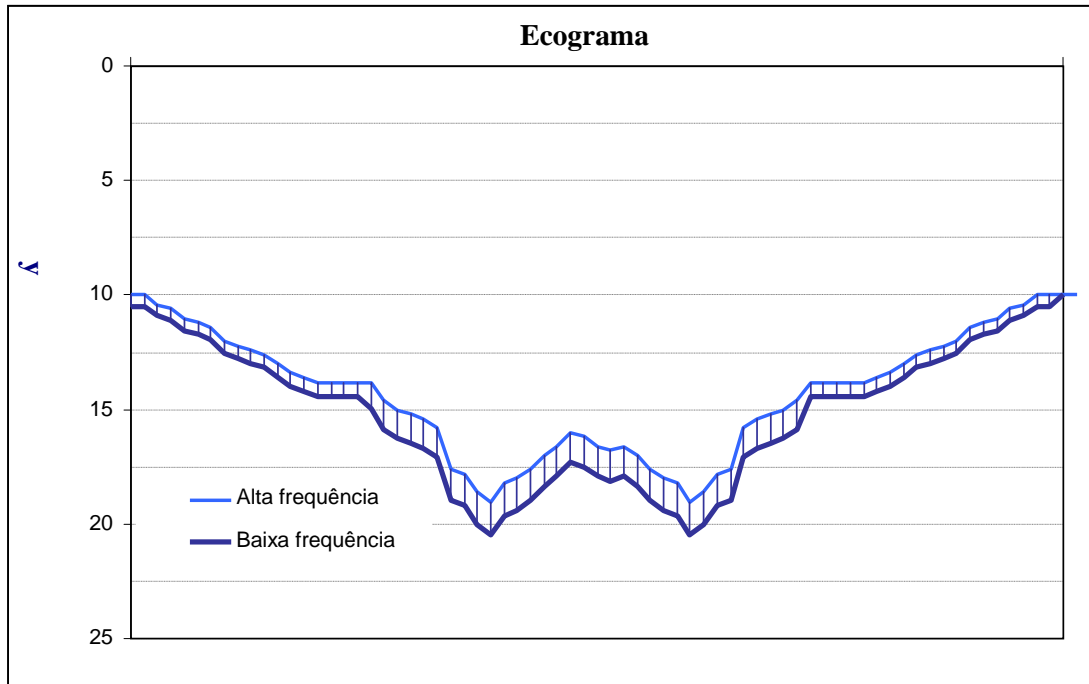



Figura 3.31 "Ecograma com o registo de duas frequências"

A variância da maré, σ^2_{tide}, devido ao erro de medição e da concordância da maré é dada por:

$$\sigma^2_{tide} = \left(\sigma^2_{tide\,m} + \sigma^2_{co-tidal}\right) \quad \textbf{(3. 53)}$$

em que $\sigma^2_{tide\,m}$ é a variância da medição da maré e $\sigma^2_{co-tidal}$ é a variância da concordância da maré.

A determinação da maré por GPS-RTK (*Real Time Kinematic*) permite a determinação da maré com elevada exatidão na própria plataforma de sondagem. No entanto, o cálculo da maré necessita de um modelo de diferenças entre o elipsóide de referência (WGS84) e o *Datum* vertical utilizado.

O controlo de qualidade é efetuado através da estatística das diferenças entre as sondas das fiadas de verificação e as sondas vizinhas das fiadas principais. A estatística desta comparação deve estar de acordo com os requisitos de precisão da S-44 (Figura 3.32).

De acordo com os erros apresentados nas secções anteriores, é possível estimar a variância da profundidade reduzida como,

$$\sigma_z^2 = \sigma_{zc}^2 + \sigma_{zt}^2 + \sigma_h^2 + \sigma_i^2 + \sigma_r^2 + \sigma_{tide}^2. \quad \textbf{(3. 54)}$$

O erro estimado ou incerteza da profundidade reduzida, a um nível de confiança de 68 % (ou 1σ) é obtido pela raiz quadrada da equação 3.54. Assumindo que as componentes dos erros seguem uma distribuição aproximadamente normal, o erro estimado da profundidade reduzida, a um nível de confiança de 95 % (ou 2σ), obtém-se substituindo cada variância σ^2 por $(2\sigma)^2$.

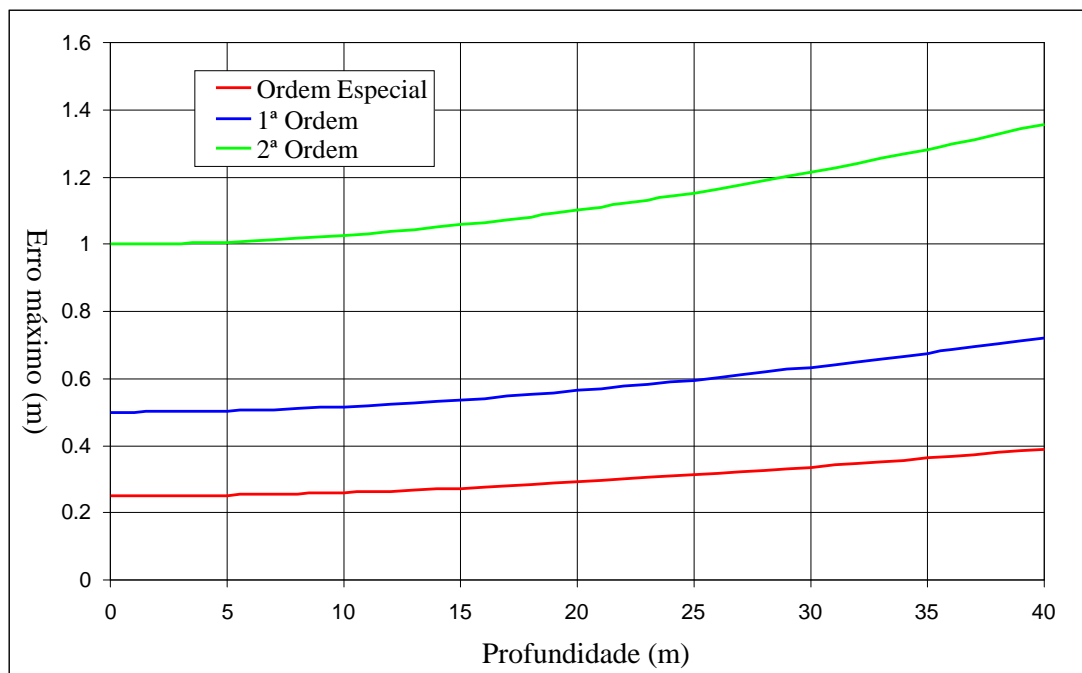



Figura 3.32 "Requisitos mínimos da profundidade reduzida para Ordem Especial, Ordem 1 e Ordem 2 (S-44)"

Para cada sistema de sondagem é recomendado o desenvolvimento de um balanço de erros para avaliar a sua conformidade com os requisitos da S-44. Na Figura 3.33 é apresentada a estimação dos erros para um determinado sondador acústico e para condições de operação específicas.

Características do Sondador Acústico:
Frequência = 200 kHz
Largura do feixe = 20º (β = 10º)
Duração do impulso = 0.1 ms

Condições de operação:
Velocidade do som média = 1500 m/s
Arfagem/*Heave* = 1 m
Balanço/*Roll* = 5º
Velocidade da plataforma = 8 knots
Settlement = N/A
Squat = 0.05 m

Erros estimados ou padrão (1σ):
Erro de calado = 0.05 m
Variação da velocidade do som = 5 m/s
Erros de profundidade devidos a:
Medição de tempo = 0.02 m
Squat = 0.05 m
Heave = 0.10 m
Erro de maré= 0.05 m
Erro co-tidal = 0.05 m
Variação da vel. do som = (5/1500)z m

Erros estimados (2 σ):
(nível de confiança 95%)
Erro de calado = 0.10 m
Variação da velocidade do som = 10 m/s
Depth errors due to:
Medição de tempo = 0.04 m
Squat = 0.10 m
Heave = 0.10 m
Erro de maré = 0.10 m
Erro co-tidal = 0.10 m
Variação da vel. do som = (1/150)z m

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_{zc}^2 + \sigma_{zt}^2 + \sigma_i^2 + \sigma_h^2 + \sigma_r^2 + \sigma_{tide}^2}.$$

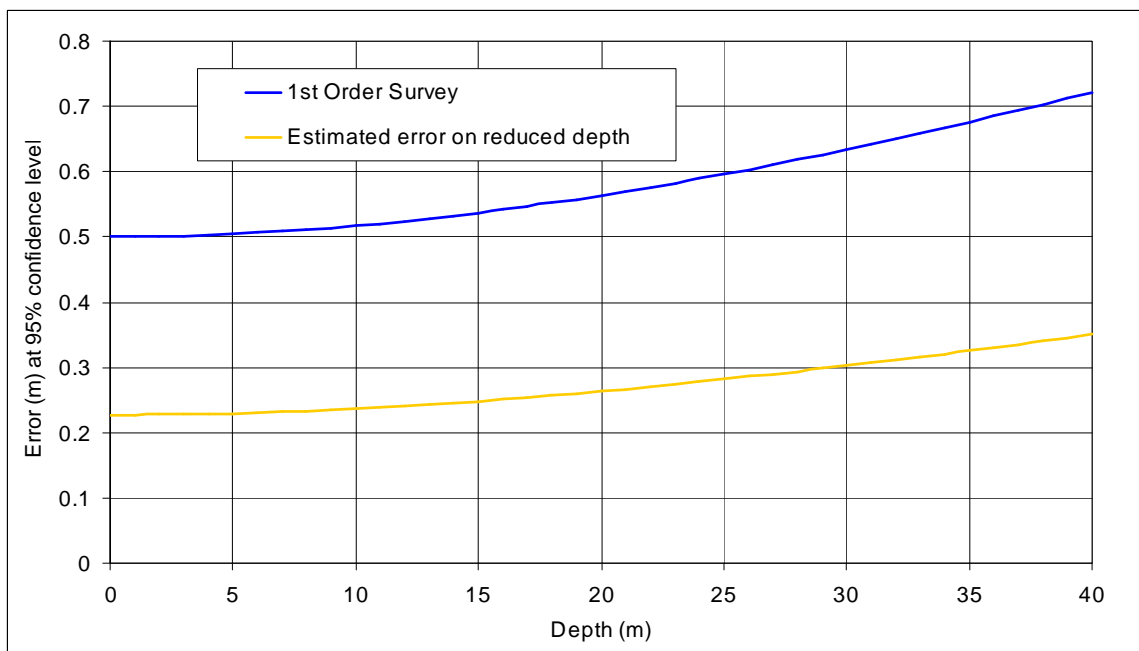



Figura 3.33 "Estimação do erro na profundidade reduzida"

5.2. Sistemas de Cobertura por Faixa (*Swath systems*)

Os sistemas de cobertura por faixa (*swath systems*) efetuam medições de profundidade ao longo de uma faixa do fundo do mar. Estes sistemas efetuam medições em perfis perpendiculares à proa

da plataforma de sondagem. À medida que a plataforma se desloca, as medições de perfis consecutivos efetuam o varrimento de uma faixa do fundo (conhecida como *swath*).

Esta secção apresenta os sistemas sondadores multifeixe e os sonares interferométricos.

5.2.1. Sondadores multifeixe

Os sondadores multifeixe são uma ferramenta valiosa para a medição da profundidade quando é necessária a busca total do fundo. Estes sistemas apresentam a potencialidade de insonificação completa do fundo submarino, com o consequente aumento de resolução e de capacidade de detecção.

5.2.1.1. Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do sondador multifeixe baseia-se na transmissão de um impulso acústico em forma de leque na direção do fundo. Após a reflexão da energia acústica pelo fundo, vários feixes são formados eletronicamente em direções predefinidas, através de técnicas de processamento de sinal. O duplo intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção é calculado com recurso a algoritmos de detecção de fundo. Com a aplicação do traçado do raio acústico (ver 5.2.1.8.1) é possível determinar a profundidade e a distância transversal entre o transdutor e o centro da área insonificada.

O feixe transmitido é largo na direção transversal à proa e estreito na direção longitudinal (proa - popa). Inversamente, os feixes formados durante a recepção são estreitos na direção transversal à proa e largos na direção longitudinal. A intersecção destes dois feixes no plano do fundo corresponde à área insonificada para a qual é medida a profundidade.

Como as medições da profundidade são efetuadas a partir de uma plataforma flutuante com seis graus possíveis de liberdade (três translações e três rotações), são necessárias medições precisas da latitude, longitude, *heave*, *roll*, *pitch* e proa para o cálculo exato da profundidade e do posicionamento.

A. Detecção do fundo é o processo utilizado pelos sondadores multifeixe para determinar o instante de chegada e a amplitude do sinal acústico. A fiabilidade deste processo afeta a qualidade das medições. Erros grosseiros na medição da profundidade podem depender, entre outros fatores, do desempenho deficiente dos algoritmos de detecção de fundo. Os algoritmos de detecção de fundo podem ser classificados em duas categorias: detecção em amplitude e detecção em fase.

a) **Detecção em amplitude**. O transdutor emite um impulso na direção do fundo e inicia um período de escuta do eco proveniente da reflexão no fundo. Nesta fase, o sinal de retorno é amostrado em tempo para cada ângulo de feixe. O tempo de viagem do sinal para um ponto do fundo é definido pela amplitude detectada no sinal refletindo no fundo (Figura 3.34).

   Os métodos comuns de detecção em amplitude são os seguintes:

   i. Frente de onda do sinal refletido. Este método é usualmente utilizado para ângulos de incidência próximos de zero. A detecção do fundo corresponde ao primeiro retorno dentro do feixe.

      Com o aumento do ângulo de incidência, o sinal refletido perde a sua forma acentuada original e o método do primeiro retorno deixa de ter bons resultados. Dois outros métodos podem ser utilizados, estes têm em consideração a variação da intensidade das amostras ao longo da célula insonificada.

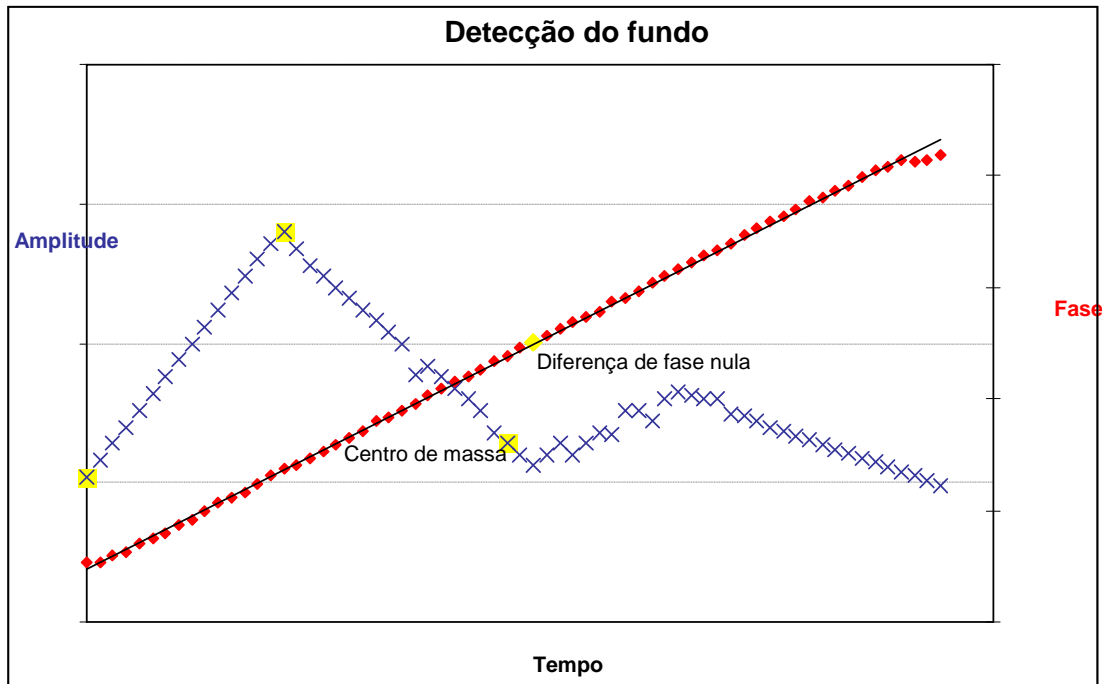



Figura 3.34 "Métodos de detecção do fundo (detecção do sinal)"

ii. Máxima amplitude do sinal refletido. A detecção do eco é definida pelo instante correspondente à máxima amplitude do sinal refletido.

iii. Centro de massa do sinal refletido. Este método consiste na determinação do instante correspondente ao centro de massa do sinal em amplitude.

b) **Detecção em fase**. A detecção em amplitude é a técnica utilizada na detecção do eco para os feixes centrais (próximos do nadir), onde a amplitude da retroreflectividade apresenta valores mais elevados e um número de amostras é reduzido. Para os feixes exteriores, a retroreflectividade decresce e o número de amostras aumenta consideravelmente. Consequentemente, o retorno em amplitude é tão diluído no tempo que a detecção em amplitude não apresenta bons resultados. Para um fundo com declive acentuado, e no sentido do aumento da profundidade, a diminuição da retroreflectividade é também acentuada. Portanto, a detecção em fase é o método usualmente utilizado para ângulos de incidência elevados.

Nesta técnica, para cada feixe o transdutor é dividido em dois sub agregados, frequentemente com sobreposição, encontrando-se os centros destes sub agregados separados por um número de comprimentos de onda. Cada sub agregado forma um feixe em direções predeterminadas, para a chegada simultânea de ecos de diferentes direções, este método apresenta a vantagem de resolver apenas os ecos na direção de formação do feixe. A sequência de valores da diferença de fase é então utilizada para estimar o instante de chegada do eco na direção do feixe formado na recepção, através da determinação da diferença de fase nula da série observada [de Moustier, 1993]. A figura 3.35 ilustra um exemplo do método de detecção em fase. O equivalente aos centros dos dois sub agregados são representados por **A** e **B** separados de uma distância ℓ, onde $\boldsymbol{\theta}$ é o ângulo do sinal recebido relativamente ao eixo acústico Um polinómio de segunda ordem pode ser ajustado a um subconjunto da série de diferenças de fase do sinal recebido nos dois sub agregados para refinar a determinação do instante correspondente à diferença de fase nula.

Quando o eco chega na direção do eixo acústico, i.e. θ = 0, o sinal nos dois sub agregados encontra-se em fase, sendo este o instante de chegada do eco para o feixe em causa.

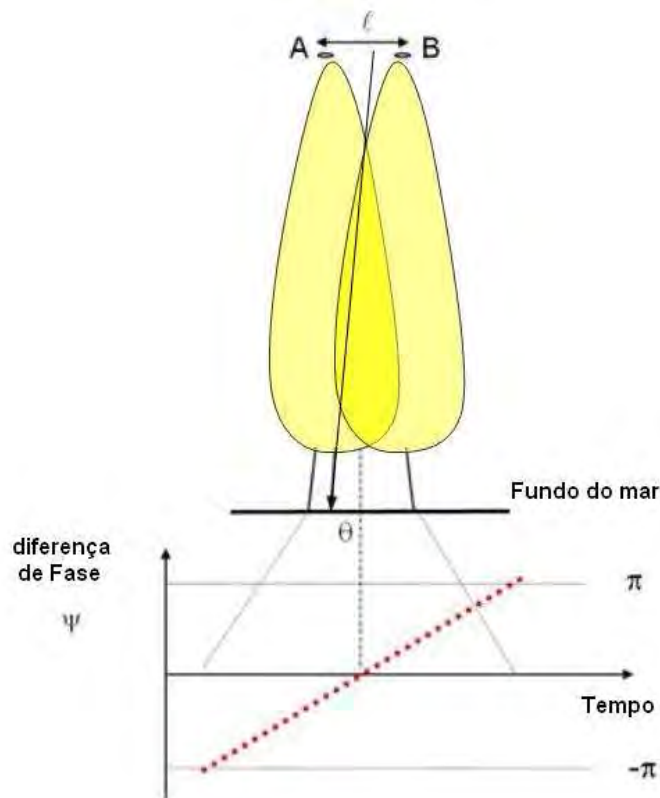



Figura 3.35 "Método de detecção em fase (diferença de fase nula)"

Ao longo da faixa sondada, é normalmente necessária uma combinação de detecção em amplitude e fase para a determinação consistente do tempo de trajeto do impulso. Próximo do nadir, deve ser utilizada a detecção em amplitude por a série temporal de amostras para estes feixes ser relativamente reduzida para uma detecção robusta em fase. A detecção em amplitude é também utilizada em fundos irregulares com declives acentuados afastados do nadir. A detecção em fase para feixes próximos do nadir pode ocorrer devido a erros grosseiros (blunders), como por exemplo o retorno do sinal na coluna de água ou devido á detecção do eco pelos lóbulos secundários. Para feixes afastados do nadir a detecção é usualmente efetuada em fase. A amplitude poderá, no entanto, ser utilizada em casos de elevada refletividade do fundo, como a associada a diferenças de refletividade na área insonificada causadas quer por reflexão normal (ou especular), quer por variância elevada no ajustamento da curva à série temporal de amostras de diferença de fase. Estas condições podem ocorrer na presença de destroços ou de fundos muito irregulares.

c) ***Fast Fourier Transform*** **(FFT)** De acordo com 4.1, os sinais recebidos em cada elemento são copiados para cada feixe durante a formação dos feixes. A soma da amplitude dos **N** elementos transdutores é ela própria uma transformada de *Fourier* do vetor, com **N** elementos, correspondente ao diagrama de radiação de um agregado linear. Se N for uma potência de 2 o cálculo é menos exigente e a transformada de *Fourier* é

chamada de *Fast Fourier Transform*[46]. Este método tem a vantagem de aumentar a velocidade do processo de formação de feixes.

Detalhes sobre este método são apresentados por de Moustier [1993].

5.2.1.2. Exatidão

Para os sondadores multifeixe a medição do ângulo e da distância é mais complexa que para os sondadores de feixe simples. Consequentemente, existe um número de fatores que contribuem para o erro destas medições, incluindo o ângulo do feixe, ângulo de incidência no fundo, largura do feixe transmitido e do feixe formado na recepção, exatidão na determinação da atitude e da arfagem, algoritmos de detecção do eco e variação do perfil de velocidade de propagação do som na água.

Usualmente é necessário calcular um balanço de erros devido a estes fatores (ver 5.2.1.8.).

5.2.1.3. Resolução

Os sistemas sondadores multifeixe, com a sua capacidade de insonificação total do fundo, contribuem para a melhor representação do relevo submarino e, quando comparados com os sondadores de feixe simples, para maior resolução cartográfica. No entanto, a resolução da medição da profundidade depende dos seguintes fatores: frequência acústica, largura do feixe transmitido e do feixe formado na recepção e do algoritmo utilizado na detecção do fundo.

A resolução da medição da profundidade é função do comprimento do impulso e da dimensão da área insonificada. A área insonificada dos sondadores multifeixe para incidência normal é relativamente pequena pelo que a resolução do sondador multifeixe é superior à do sondador de feixe simples.

5.2.1.4. Frequência

É selecionada em função da sua utilização, nomeadamente o alcance máximo e resolução pretendida.

As frequências dos sondadores multifeixe são tipicamente:

a) Profundidades inferiores a 100 metros: frequências superiores a 200 kHz;

b) Profundidades inferiores a 1500 metros: frequências entre 50 e 200 kHz;

c) Profundidades superiores a 1500 metros: frequências entre 12 e 50 kHz.

5.2.1.5. Sensores do sistema multifeixe e sua integração

Além do sondador multifeixe, os sistemas multifeixe incluem:

a) Sensor de movimento – para determinação da atitude (*roll*, *pitch* e proa) e arfagem. Atualmente estes sensores compreendem uma unidade de medição inércial (IMU) e um par de receptores GPS e respectivas antenas. Como resultado da tecnologia utilizada, este sensor permite também a determinação da posição com elevada exatidão;

b) Perfilador de velocidade de propagação do som – para a medição da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água;

---

[46] Também é possível utilizar FFT quando N não é uma potência de 2, através da adição de elementos com amplitude zero, ver de Moustier [1993].

c) Sensor de velocidade de propagação do som – para medição da velocidade de propagação do som na face do transdutor. Este componente deve ser considerado obrigatório para os agregados de transdutores de face plana, onde é necessário o guiamento dos feixes;

d) Sistema de posicionamento –nos novos sistemas, como referido acima, o posicionamento está integrado com os sensores de movimento. O GPS em modo pseudo-diferencial ou em modo RTK é sistema geralmente usado;

e) Sensor de proa – encontra-se também integrado com o sensor de movimentos, a melhor solução é dada pela proa obtida por dois receptores GPS.

5.2.1.6. Instalação e calibração (*patch test*)

A instalação dos transdutores multifeixe pode ser por fixação ao casco ou por fixação à proa ou à borda. A fixação ao caso é utilizada em navios ou em instalações permanentes, as outras instalações são utilizadas em embarcações ou em instalações temporárias.

A calibração (*patch test*) é um procedimento essencial que consiste na determinação dos desvios em *roll*, *pitch* e proa para o transdutor e sensor de movimentos e da latência do sistema de posicionamento. Informação detalhada sobre este assunto pode ser encontrada em Godin [1996].

A calibração deve ser efetuada após instalação do sistema e após grandes períodos de inoperacionalidade ou após alterações significativas da instalação.

Antes da calibração é necessário verificar os parâmetros de instalação e efetuar um perfil de propagação da velocidade do som na água de forma a atualizar cálculo da refração.

a) Latência do posicionamento

A latência ou atraso do posicionamento é a diferença em tempo entre posicionamento e a determinação da profundidade. Para a determinação da latência são efetuadas duas fiadas sobrepostas, no mesmo sentido e velocidades diferentes, num fundo inclinado. Quanto maior o declive do fundo maior será a resolução deste parâmetro. O declive deve ser regular e apresentar uma extensão suficiente para garantir uma amostragem adequada. A figura 3.36 ilustra a calibração deste parâmetro.

O valor da latência é obtido por medição do deslocamento longitudinal das sondas ao longo do declive devido às diferentes velocidades do navio. Para evitar a influência dos desvios em *pitch*, as fiadas devem ser efetuadas no mesmo sentido.

O valor da latência, $\boldsymbol{\delta t}$, pode ser obtido através da equação:

$$\delta t = \frac{\Delta x}{v_2 - v_1} \qquad \mathbf{(3.55)}$$

onde $\boldsymbol{\Delta x}$ é a separação horizontal entre os perfis das duas fiadas, realizadas às velocidades $\mathbf{v_1}$ e $\mathbf{v_2}$ para a fiada 1 e 2, respectivamente.

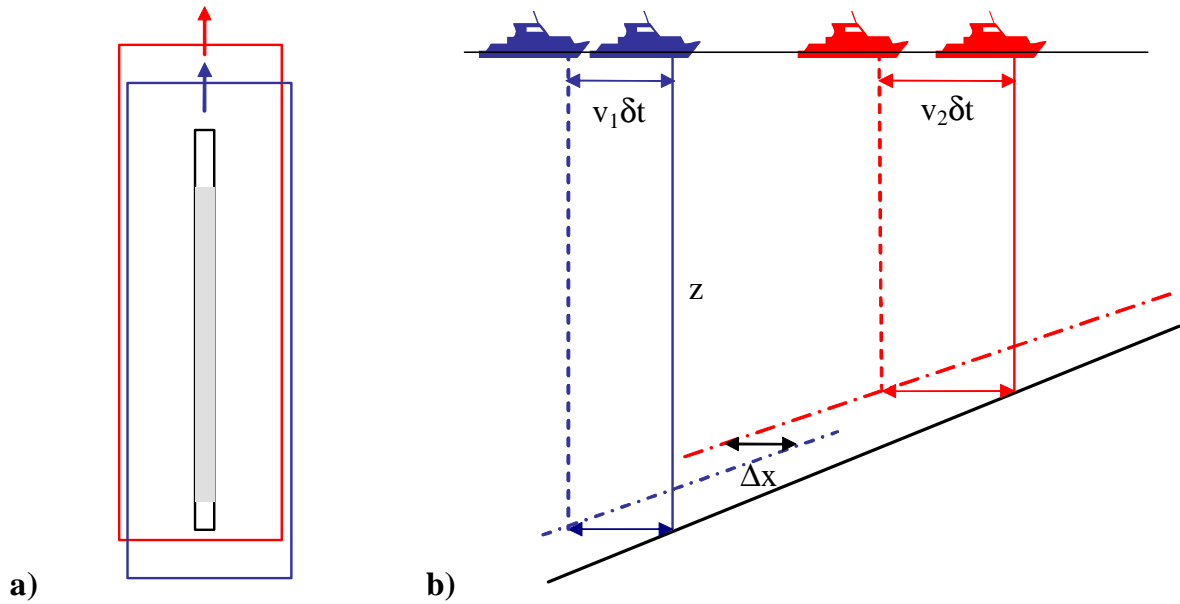



Figura 3.36 "Calibração da latência. a) vista de cima; b) secção longitudinal onde é visível a separação entre os dois perfis relativamente ao fundo real. "

b) <u>Desvio em *pitch*</u>

O desvio em *pitch* é a composição do desvio angular do sensor de movimentos e do alinhamento do transdutor com a vertical do lugar no plano longitudinal da plataforma de sondagem. Para determinar o desvio em *pitch* são efetuadas duas fiadas sobrepostas, em sentidos opostos e à mesma velocidade, num fundo inclinado. Tal como referido na determinação da latência, quanto maior o declive maior será a resolução deste parâmetro. O declive deve ser regular e apresentar uma extensão suficiente para garantir uma amostragem adequada. A figura 3.37 ilustra a calibração deste parâmetro.

Após a determinação da latência, o desvio em *pitch* é obtido por medição do deslocamento longitudinal. Para evitar qualquer interferência devido à latência, este parâmetro deve já estar corrigido antes de se realizar esta calibração.

O desvio em *pitch*, $\boldsymbol{\delta\theta_p}$, pode ser obtido pela equação:

$$\delta\theta_p = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{2 \cdot z}\right) \qquad \textbf{(3.56)}$$

Onde $\mathbf{\Delta x}$ é a separação horizontal entre os dois perfis de sondagem na vizinhança do nadir, e $\mathbf{v_1}$ e $\mathbf{v_2}$ são as velocidades das fiadas 1 e 2 respectivamente.

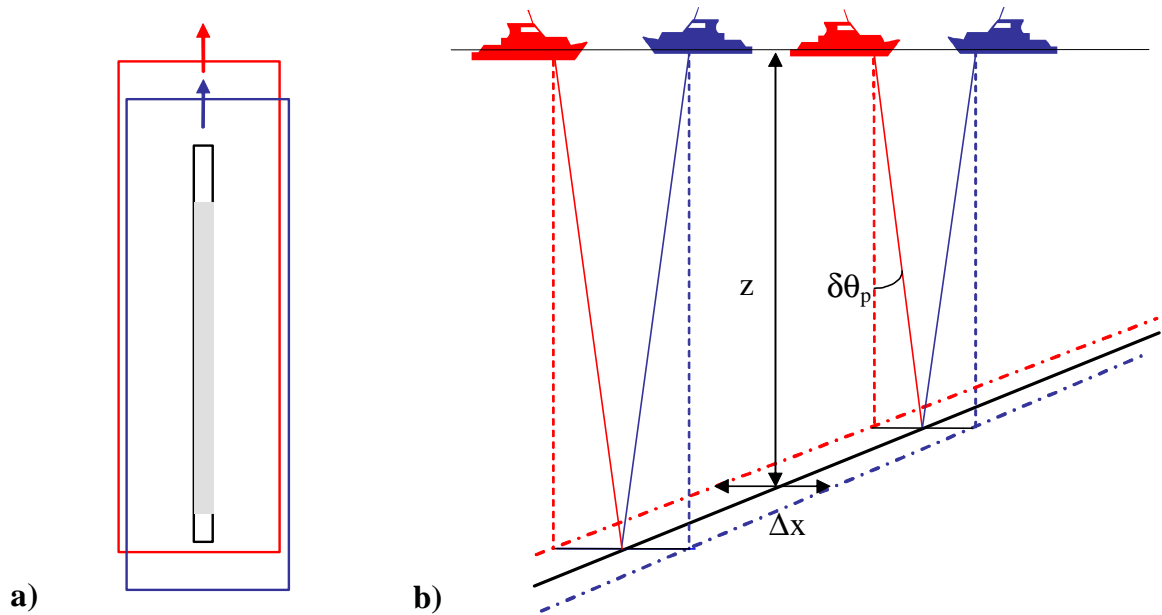



Figura 3.37 "Calibração do desvio em *pitch* a) vista de topo das duas fiadas; b) secção longitudinal, onde é visível a separação entre os dois perfis relativamente ao fundo real."

c) Desvio em proa

O desvio em proa é a composição dos desvios angulares do sensor de determinação da proa e do alinhamento do transdutor, segundo a perpendicular ao eixo longitudinal da plataforma de sondagem. O procedimento para determinar o desvio em proa consiste em realizar dois pares de fiadas adjacentes e recíprocas, à mesma velocidade, numa área com uma estrutura batimétrica bem definida, por exemplo um baixio. As fiadas adjacentes devem apresentar sobreposição dos feixes exteriores na área da estrutura batimétrica (a sobreposição não deve ser superior a 20% da faixa sondada). A figura 3.38 ilustra a calibração do desvio em proa.

Após a correta determinação da latência do sistema de posicionamento e do desvio em *pitch*, o desvio em proa pode ser obtido através da medição do deslocamento longitudinal da estrutura batimétrica entre as fiadas adjacentes. Para evitar qualquer influência da latência e do desvio em *pitch*, o sistema deverá ter sido previamente compensado para estes dois desvios.

O desvio em proa, $\delta\alpha$, pode ser obtido pela equação:

$$\delta\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta L}\right) \qquad \textbf{(3.57)}$$

Onde Δx é a separação horizontal da estrutura batimétrica obtida através das duas fiadas recíprocas adjacentes à estrutura, sendo ΔL a distância entre as duas fiadas.

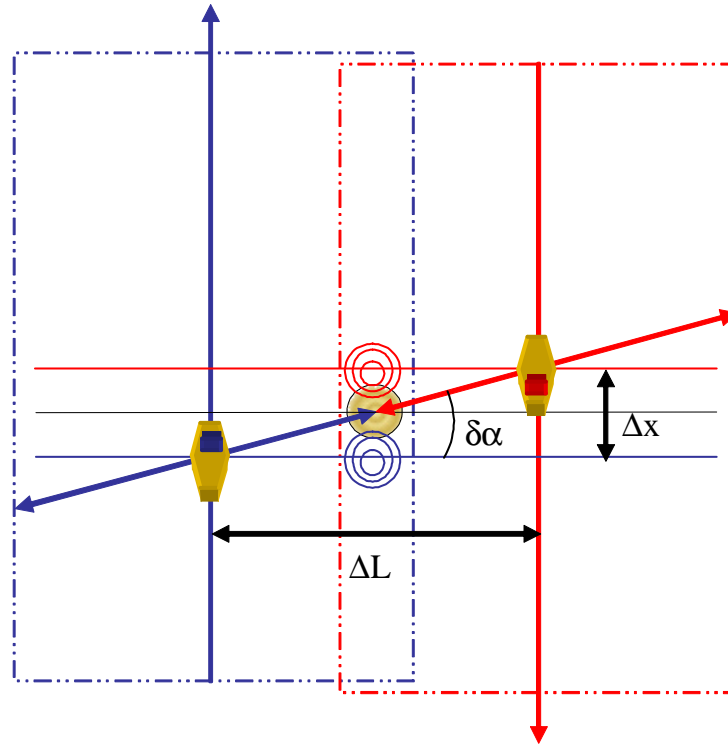



Figura 3.38 "Calibração do desvio em proa"

d) Desvio em *roll*

O desvio em *roll* é a composição do desvio angular do sensor de movimentos e do alinhamento do transdutor com a vertical do lugar no plano transversal da plataforma de sondagem. Para determinar o desvio em *roll* são efetuadas duas fiadas sobrepostas, em sentidos opostos e à mesma velocidade, num fundo plano e regular. A figura 3.39 ilustra a calibração deste parâmetro.

Após correta determinação da latência do sistema de posicionamento, do desvio em *pitch* e do desvio em proa, o desvio em *roll* pode ser obtido através da medição do deslocamento vertical dos feixes exteriores das duas fiadas sobrepostas. Para evitar qualquer influência da latência, do desvio em *pitch* e do desvio em *roll* o sistema deve ser previamente compensado para estes erros sistemáticos.

O desvio em *roll*, $\boldsymbol{\delta\theta_R}$, pode ser obtido através da equação:

$$\delta\theta_R = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta z}{2 \cdot \Delta y}\right) \qquad \textbf{(3.58)}$$

Onde $\boldsymbol{\Delta z}$ é a separação vertical entre os feixes exteriores das duas fiadas recíprocas e $\boldsymbol{\Delta y}$ é a distância entre o nadir e o ponto onde a separação vertical das duas fiadas é medida.

A calibração é usualmente efetuada através de ferramentas interativas. O ajustamento ou cálculo do desvio deve ser efetuado por amostragem de várias secções de forma a determinar um valor médio para cada parâmetro. Os desvios podem ter uma incerteza da ordem da resolução do sensor de movimentos.

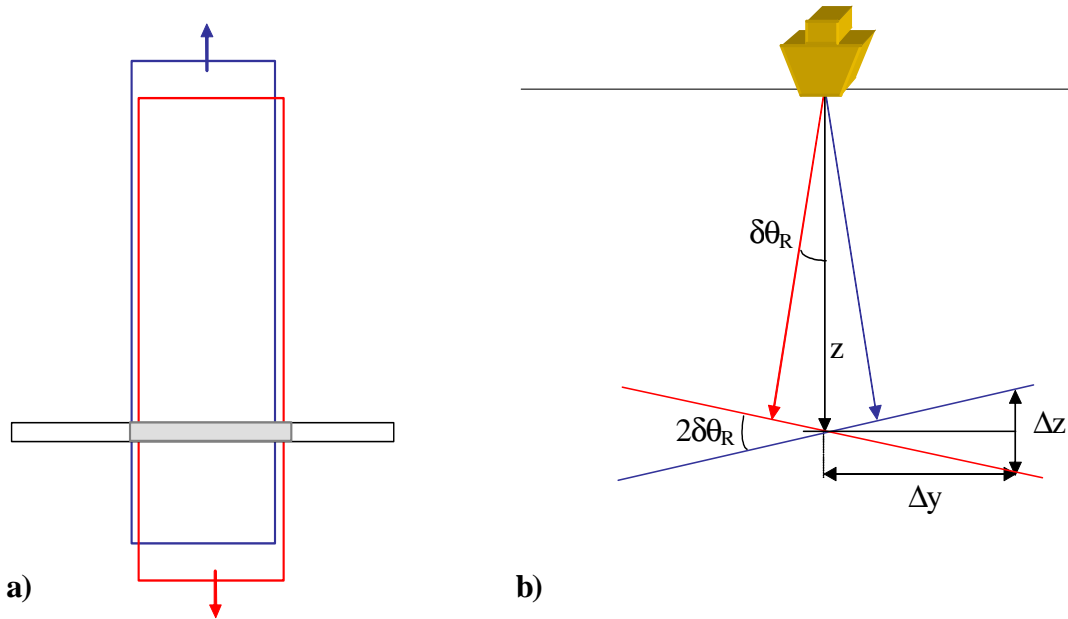



Figura 3.39 “Calibração do desvio em *roll.* a) vista de topo das duas fiadas; b) secção transversal, onde é visível a separação entre os dois perfis relativamente ao fundo real."

5.2.1.7. Operação e registo de dados

A configuração dos equipamentos na plataforma de sondagem e os parâmetros de calibração devem ser verificados no início de cada levantamento. Os parâmetros do sistema utilizados durante a aquisição podem variar consoante a área do levantamento (v.g. profundidade máxima, profundidade esperada, máxima razão de transmissão de impulsos, etc.).

No início de um levantamento deve ser efetuado um perfil de velocidade de propagação do som na água e transferido para o sondador multifeixe para ser utilizado, geralmente, em tempo real. A velocidade de propagação do som à face do transdutor deve ser comparada com o valor dado pelo sensor de velocidade colocado à imersão do transdutor. Durante o levantamento devem ser efetuados vários perfis de velocidade de propagação do som, de acordo com a avaliação prévia de variação temporal e espacial dos perfis de velocidade de propagação do som.

Durante o levantamento, os sistemas apresentam capacidade de operação autónoma. No entanto, o hidrógrafo deve monitorizar a aquisição dos dados e verificar a sua integridade. Em particular, deve ser garantida a completa insonificação do fundo e a sobreposição entre fiadas adjacentes. É importante comparar a sobreposição dos feixes exteriores de faixas adjacentes e verificar eventuais tendências de encurvamento sistemático dos perfis (conjunto de feixes correspondentes a um impulso).

No final de cada sessão de sondagem é altamente recomendável a duplicação da informação adquirida (*backup*).

5.2.1.8. Fontes de erro e técnicas de controlo de qualidade

As fontes de erro para os sondadores de feixe simples foram apresentadas em 5.1.4. Daqui em diante são analisadas as fontes de erro para os sondadores multifeixe. Alguns dos erros são comuns aos dois sistemas, i.e. não variam com o ângulo do feixe. Por esta razão alguns dos erros são referidos na secção 5.1.4. Detalhes na incerteza da medição dos sondadores multifeixe podem ser encontrados em Hare [1995] e Lurton [2002].

5.2.1.8.1 Devido à velocidade de propagação do som. Erros ou variação na velocidade de propagação do som na água resultam em soluções incorretas para a refração e, consequentemente, em erros na medição da profundidade e posicionamento.

O traçado do raio acústico47 baseia-se na lei de Snell que estabelece a relação entre a direção do raio e a velocidade de propagação das ondas acústicas:

$$\frac{\operatorname{sen}\theta_0}{c_0} = \cdots = \frac{\operatorname{sen}\theta_i}{c_i} = \kappa \qquad \textbf{(3.59)}$$

onde $\mathbf{c_i}$ é a velocidade de propagação do som, $\boldsymbol{\theta_i}$ é o ângulo de incidência referido à vertical para uma profundidade $\mathbf{z_i}$ e $\boldsymbol{\kappa}$ parâmetro do raio ou constante de Snell.

Considerando um perfil de velocidade de propagação do som discreto (Figura 3.40), é aceitável assumir o gradiente de velocidade de propagação do som é constante para cada camada, i.e. entre duas medições sucessivas da velocidade de propagação do som. Desta forma, a velocidade de propagação do som pode ser representada por:

$$c^i(z) = c_{i-1} + g_i(z - z_{i-1}), \quad \text{for} \quad z_{i-1} \le z \le z_i \qquad \textbf{(3.60)}$$

onde $\mathbf{g_i}$ é o gradiente da camada **i**, dado por:

$$g_i = \frac{c_i - c_{i-1}}{z_i - z_{i-1}} \qquad \textbf{(3.61)}$$

Em cada camada o impulso acústico descreve um trajeto curvilíneo com raio de curvatura constante, $\boldsymbol{\rho_i}$, dado por:

$$\rho_i = -\frac{1}{\kappa g_i} \qquad \textbf{(3.62)}$$

---

[47] O raio acústico corresponde a uma linha desenhada a partir da fonte, sendo perpendicular à frente de onda em qualquer ponto da trajectória.

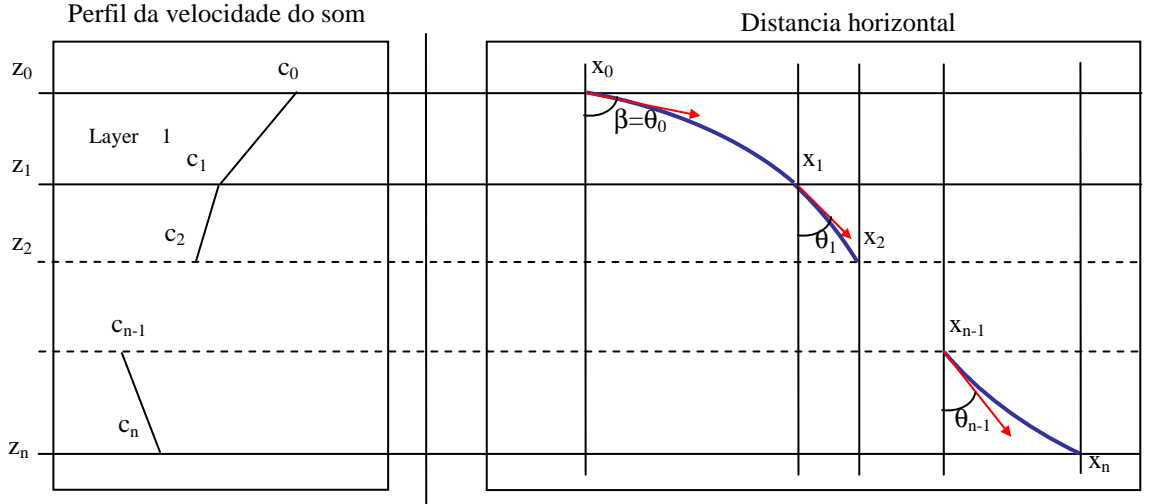



Figura 3.40 "Traçado do raio acústico"

Considerando o ângulo do feixe $\boldsymbol{\theta_0}$ (ou $\boldsymbol{\beta}$) numa profundidade com velocidade de propagação do som $\mathbf{c_0}$, a distância horizontal percorrida pelo impulso acústico até ao nível **i** é dada por:

$$\Delta x_i = \rho_i \left(\cos\theta_i - \cos\theta_{i-1}\right) = \frac{\cos\theta_{i-1} - \cos\theta_i}{\kappa g_i} \tag{3.63}$$

e, substituindo **cos(θ$_i$)** por $\sqrt{1-(\kappa c_i)^2}$ obtém-se:

$$\Delta x_i = \frac{\sqrt{1-(\kappa c_{i-1})^2} - \sqrt{1-(\kappa c_i)^2}}{\kappa g_i} \tag{3.64}$$

O tempo de percurso do impulso acústico na camada ***i*** é dada por:

$$\Delta t_i = \frac{1}{g_i} \int_{c_{i-1}}^{c_i} \frac{dc}{c \cdot \cos(\theta)} \tag{3.65}$$

que pode também ser escrito na forma:

$$\Delta t_i = \frac{1}{g_i} \ln\left(\frac{c_i}{c_{i-1}} \frac{1+\sqrt{1-(\kappa c_{i-1})^2}}{1+\sqrt{1-(\kappa c_i)^2}} \right) \tag{3.66}$$

Para obter a distância horizontal total percorrida pelo sinal acústico e o intervalo de tempo correspondente, é necessário somar as distâncias $\boldsymbol{\Delta x_i}$ e os tempos $\boldsymbol{\Delta t_i}$ desde o transdutor até ao fundo,

$$x = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[1-(\kappa c_{i-1})^2\right]^{1/2} - \left[1-(\kappa c_i)^2\right]^{1/2}}{\kappa g_i} \tag{3.67}$$

$$t = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{g_i} \ln\left(\frac{c_i}{c_{i-1}} \frac{1+\sqrt{1-(\kappa c_{i-1})^2}}{1+\sqrt{1-(\kappa c_i)^2}} \right) \quad \textbf{(3.68)}$$

A determinação da profundidade e o seu posicionamento resultam da integração de cada uma das componentes da velocidade do impulso ao longo do tempo. O trajeto é fixo pelo ângulo inicial do feixe, utilizando o perfil atualizado da velocidade de propagação do som na água entre a profundidade do transdutor e o percurso do impulso até ao fundo **($\Delta t/2$)**.

Tomando um perfil de velocidade de propagação do som na água, com gradiente constante, **g**, a profundidade é obtida através de:

$$z = \int_{0}^{\Delta t/2} (c_0 + g \cdot z) \cdot \cos(\theta) dt \quad \textbf{(3.69)}$$

O erro em profundidade, $\mathbf{dz_c}$, devido à variação do gradiente, **dg**, e à velocidade de propagação do som à face do transdutor, $\mathbf{dc_0}$, por diferenciação da equação 3.69 pode ser aproximada por:

$$dz_c = \frac{z^2}{2c_0}\left(1 - \tan^2(\beta)\right)dg + \frac{z}{c_0}dc_0 \quad \textbf{(3.70)}$$

onde $\boldsymbol{\beta}$ e $\mathbf{c_0}$ são o ângulo de lançamento do feixe e a velocidade obtida do perfil para a profundidade do transdutor. Na equação 3.70 o primeiro termo corresponde aos erros relativos à distância e à refração devido à variação do gradiente do perfil de velocidade de propagação do som na água, enquanto que o segundo termo corresponde ao erro em profundidade devido ao desvio do perfil à profundidade do transdutor. Assumindo que não existe correlação entre estes dois erros, a variância da profundidade devido aos erros na velocidade de propagação do som são dados por:

$$\sigma^2_{z\,c_profile} = \left(\frac{z^2}{2c_0}\right)^2 \left(1 - \tan^2(\beta)\right)^2 \sigma_g^2 + \left(\frac{z}{c_0}\right)^2 \sigma_{c_0}^2 \quad \textbf{(3.71)}$$

onde $\boldsymbol{\sigma_g^2}$ corresponde à variância do gradiente do perfil de velocidade de propagação do som na água e $\boldsymbol{\sigma_{c0}^2}$ corresponde à variância do valor inicial da velocidade de propagação do som na água utilizada no cálculo da profundidade.

Os erros na velocidade de propagação do som na água são, na prática, difíceis de quantificar e os problemas devido às variações temporais e espaciais da velocidade de propagação do som podem, por vezes, ser tão significativas que a solução pode passar limitar a cobertura angular efetiva do sondador multifeixe.

Existe outra componente de erro na profundidade devido à variação da velocidade de propagação do som à face do transdutor. Esta componente introduz um erro no ângulo do feixe que, por seu lado, também se traduz em erro na profundidade medida e no seu posicionamento.

Para a estabilização do feixe é necessário introduzir atrasos em tempo nos elementos transdutores do agregado (4.2). Para calcular os atrasos é necessário conhecer a velocidade de propagação do som à face dos transdutores. Isto é usualmente conseguido através de um sensor de velocidade de propagação do som colocado junto do transdutor. Qualquer erro na velocidade de propagação do som à face do transdutor propagar-se-á como erro no ângulo do feixe (Figura 3.41).

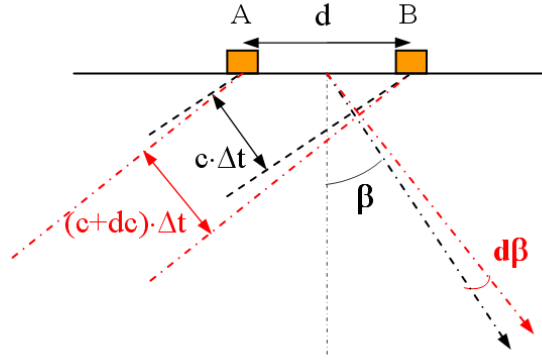



Figura 3.41 "Erro no guiamento do feixe devido à variação da velocidade de propagação do som na água "

O atraso em tempo para guiar o feixe um ângulo **β** é obtido por:

$$\Delta t = \frac{d}{c_0} \sin(\beta) \tag{3.72}$$

logo:

$$\beta = \operatorname{asin}\left(\frac{c_0 \cdot \Delta t}{d}\right) \tag{3.73}$$

por diferenciação e procedendo a simplificação apropriada, obtém-se:

$$d\beta = \frac{\tan(\beta)}{c_0} dc_0 \tag{3.74}$$

O erro no guiamento do feixe propaga-se num erro em profundidade, dado por:

$$dz_\beta = -\frac{z}{c_0} \cdot \tan^2(\beta) dc_0 \tag{3.75}$$

A variância da profundidade devido ao guiamento do feixe é dada por:

$$\sigma_{z\beta}^2 = \left(\frac{z}{c_0}\right)^2 \tan^4(\beta)\sigma_{c0}^2 \tag{3.76}$$

onde $\boldsymbol{\sigma c_0^2}$ corresponde à variância da velocidade de propagação do som utilizada no guiamento do feixe, usualmente obtida por um sensor colocado junto ao transdutor.

A variância estimada para a profundidade devido aos erros da velocidade é dada por:

$$\sigma_{zc}^2 = \sigma_{zc_profile}^2 + \sigma_{z\beta}^2 \tag{3.77}$$

Os erros mencionados acima podem ser detectados por inspeção visual dos dados através da curvatura anormal dos perfis (conjunto dos vários feixes).

5.2.1.8.2 Devido à atitude. A medição da profundidade depende dos erros em *pitch* e *roll*, com a seguinte contribuição:

$$dz_{\theta_R} = R \cdot \cos(\theta_P) \cdot \sin(\beta - \theta_R) d\theta_R \qquad \textbf{(3.78)}$$

e,

$$dz_{\theta_P} = R \cdot \sin(\theta_P) \cdot \cos(\beta - \theta_R) d\theta_P \qquad \textbf{(3.79)}$$

As respectivas variâncias da profundidade são dadas por:

$$\sigma^2_{z\theta_R} = \left(z \cdot \cos(\theta_P) \cdot \tan(\beta - \theta_R)\right)^2 \sigma^2_{\theta R} \qquad \textbf{(3.80)}$$

e,

$$\sigma^2_{z\theta_P} = \left(z \cdot \sin(\theta_P)\right)^2 \sigma^2_{\theta P} \qquad \textbf{(3.81)}$$

A variância total da profundidade devido à atitude e à arfagem da plataforma é dada por:

$$\sigma^2_{z\,motion} = \sigma^2_{z\theta_R} + \sigma^2_{z\theta_P} + \sigma^2_h \qquad \textbf{(3.82)}$$

onde σ^2_h é a variância da arfagem.

5.2.1.8.3 Devido ao calado, assentamento, *squat* e posição relativa do transdutor. A exatidão da medição da imersão do transdutor e o conhecimento do comportamento do navio em condições dinâmicas, assentamento e *squat* são fundamentais para a exatidão das medições de profundidade. Estes erros contribuem para o erro da profundidade independentemente do ângulo do feixe.

A variância da profundidade devido à imersão do transdutor, ver 5.1.4.4, é dada por:

$$\sigma^2_i = \sigma^2_{draught} + \sigma^2_{settlement} + \sigma^2_{squat} \qquad \textbf{(3.83)}$$

onde $\sigma^2_{draught}$ é a variância do calado, $\sigma^2_{settlement}$ é a variância do assentamento e σ^2_{squat} é a variância do *squat*.

5.2.1.8.4 Redução da profundidade. Este assunto já foi analisado em 5.1.4.8.

O controlo de qualidade deve ser efetuado através de cálculos estatísticos baseados na comparação entre profundidades das fiadas de verificação e superfície batimétrica gerada com as fiadas principais. A estatística gerada nesta comparação deve satisfazer os requisitos de exatidão apresentados na S-44.

De acordo com os erros apresentados acima, a variância estimada para a profundidade reduzida é dada por:

$$\sigma^2_z = \sigma^2_{zc} + \sigma^2_{h\,motion} + \sigma^2_i + \sigma^2_{tide} + \sigma^2_{z\,detection} \qquad \textbf{(3.84)}$$

onde $\sigma^2_{z\,\det ection}$ corresponde à variância da profundidade devido ao algoritmo de detecção do fundo implementado no sondador multifeixe [Lurton, 2002].

O erro estimado na profundidade reduzida, a um nível de confiança de 68 por cento (ou 1σ), é obtido pela raiz quadrada da equação 3.84. Assumindo que as componentes do erro seguem uma distribuição aproximadamente normal, o erro estimado da profundidade reduzida, a um nível de confiança de 95 por cento (ou 2σ), é obtida pela substituição cada variância σ^2 por $(2\sigma)^2$.

5.2.2. Sonares interferométricos

5.2.2.1. Os sonares interferométricos

Os sonares interferométricos utilizam a fase do sinal sonar para medir o ângulo da frente de onda refletida pelo fundo ou por um alvo. Este princípio difere do utilizado nos sistemas multifeixe que forma na recepção um conjunto de feixes e efetua a detecção do fundo para cada feixe, quer por amplitude ou fase, para determinação da profundidade ao longo da faixa sondada [Hughes Clarke, 2000].

Estes sonares têm dois ou mais agregados horizontais. Cada agregado produz um feixe com grande abertura transversal e com pequena abertura longitudinal. Um destes agregados de elementos transdutores é utilizado para a transmissão, insonificando uma área do fundo e difundindo a energia incidente em várias direções. Parte dessa energia será refletida na direção dos agregados que medem o ângulo relativamente aos transdutores.. A distância é também calculada a partir do tempo de ida e volta observado.

Existem vários métodos para a medição do ângulo. O mais simples consiste na soma dos sinais recebidos em dois agregados, resultando em franjas de amplitude do sinal ou "*fringe*" que correspondem à variação da intensidade do sinal. Se os dois agregados estiverem separados por meio comprimento de onda, existirá apenas uma *fringe*, correspondendo a direção de fase nula à perpendicular do eixo do transdutor, podendo a direção ser determinada sem ambiguidade. Se os transdutores estiverem separados por vários comprimentos de onda, o ângulo de detecção da frente de onda pode ser derivado para as direções onde a ocorrência do sinal é máxima ou mínima (Figura 3.42). No entanto, este método, quando utilizado individualmente, produz um número reduzido de medições.

5.2.2.2. Sonares de prospecção (*Forward looking sonars*)

Os sonares de abertura horizontal são utilizados na detecção de obstruções através do varrimento mecânico ou eletrónico no plano horizontal. Estes sistemas são especialmente adequados na detecção de obstruções em áreas não levantadas ou sondadas inadequadamente.

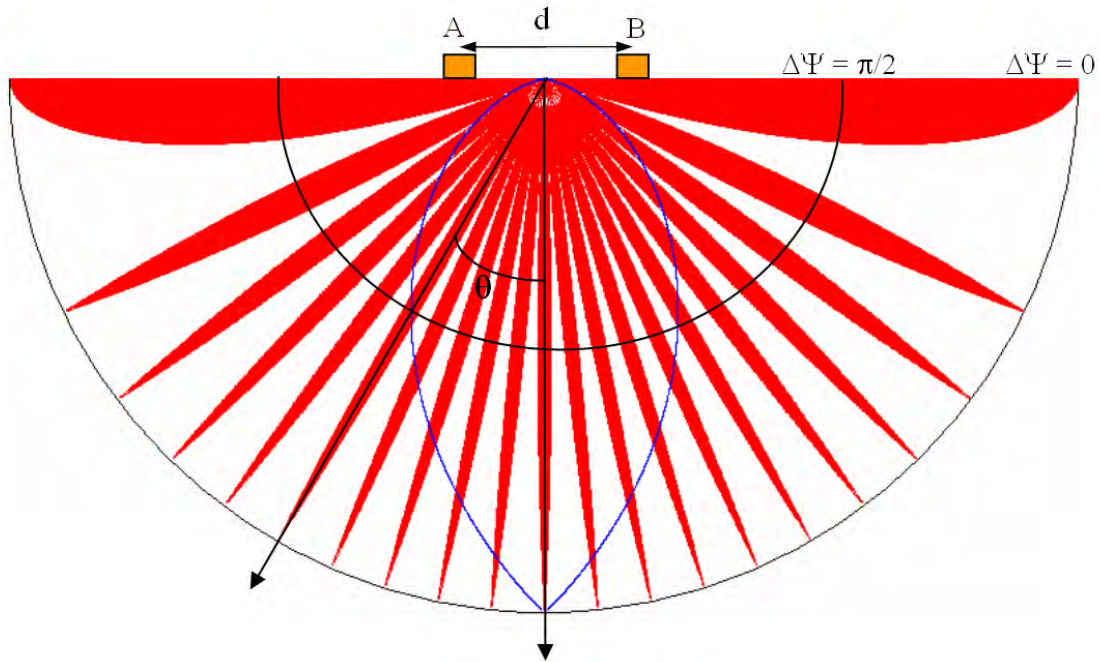



Figura 3.42 "Diagrama de radiação resultante da interferência, construtiva ou destrutiva, dos sinais recebidos em dois agregados, separados por uma distância (d) 10 vezes superior ao comprimento da onda acústica (vermelho) e a meio comprimento de onda (azul)"

6. SISTEMAS NÃO ACÚSTICOS

Além dos sistemas acústicos apresentados na secção anterior, existem alguns sistemas eletromagnéticos que podem ser utilizados na medição da profundidade, tais como os sistemas laser e de indução eletromagnética, bem como a determinação de profundidade derivada de altimetria satélite. Estes sistemas e os tradicionais métodos mecânicos para determinação da profundidade ou para rocega são descritos seguidamente.

6.1. Sistemas Laser Aerotransportados

Os sistemas laser[48] constituem uma alternativa e um complemento aos sistemas acústicos em fundos baixos [Guenther et al., 1996].

Um sistema laser é constituído por um módulo de varrimento laser, um receptor GPS e um sensor inércial de movimento (IMU).

6.1.1. Princípios de funcionamento

O sistema hidrográfico laser aerotransportado, LIDAR (*LIght Detection And Ranging*), é utilizado para medição da profundidade. Este sistema emite um impulso laser em duas frequências (azul-verde e infravermelho), com um padrão em arco através do percurso de voo da plataforma. O sistema regista ambos os sinais correspondentes ao impulso de luz refletido pela superfície do mar e pelo fundo (Figura 3.43). O intervalo de tempo entre os dois retornos é convertido em profundidade.

[48] Laser é o acrónimo para *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Basicamente o laser consiste num diodo que produz luz numa determinada frequência.

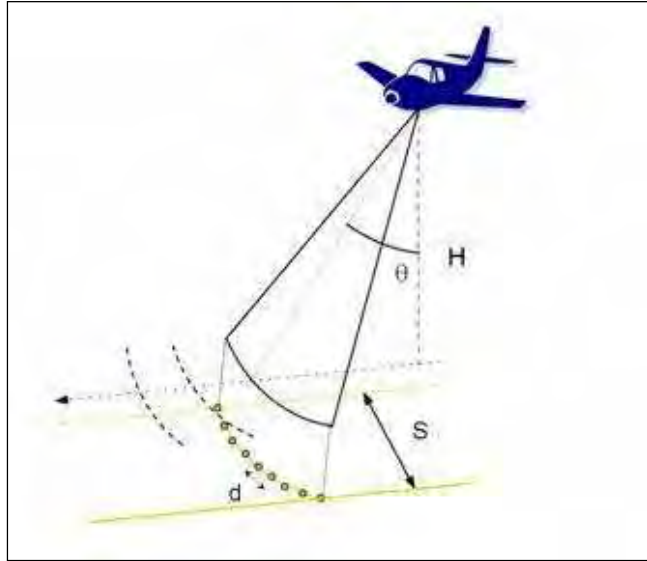



Figura 3.43 "Geometria das medições LIDAR "

A propagação da luz na água do mar, tal como a propagação da energia acústica, depende da temperatura, pressão e salinidade. A água do mar é, até certo ponto, transparente à luz. Em condições ideais, sem material em suspensão, a atenuação é uma função da absorção e da dispersão.

A transparência da água do mar às frequências das bandas do infravermelho e do visível do espectro eletromagnético é uma função da quantidade de material em suspensão. Portanto, a transparência da água[49] é uma condicionante à utilização dos sistemas de sondagem laser. A máxima profundidade de operação do Lidar é cerca de 2 a 3 vezes a profundidade do disco *Secchi*[50].

Um impulso de luz em duas frequências diferentes é transmitido na direção do mar. Parte da energia do feixe infravermelho é refletida pela superfície do mar e regressa no sentido do avião, o feixe laser azul-verde transmitido para a água é parcialmente refletido pelo fundo e é também detectado pelo sistema., A distância ao fundo do mar pode ser medida conhecendo a velocidade da luz na água e medindo o intervalo de tempo com elevada precisão. O cálculo da profundidade requer, adicionalmente, o conhecimento da geometria das medições de acordo com a lei de Snell (Figura 3.44).

$$\frac{\operatorname{sen}\theta_a}{c_a} = \frac{\operatorname{sen}\theta_w}{c_w} \qquad \textbf{(3.85)}$$

onde $\boldsymbol{\theta_a}$ e $\boldsymbol{\theta_w}$ são os ângulos de incidência no ar e na água e $\mathbf{c_a}$ e $\mathbf{c_w}$ são as velocidades de propagação da luz no ar e na água.

---

[49] A transparência da água, i.e., a transmissão de luz visível através da água, pode ser quantificada pela profundidade de um disco Secchi.

[50] O disco Secchi é um instrumento simples utilizado para medir a transparência da água. Este disco de côr branca, tem aproximadamente 30 cm de diâmetro, é colocado horizontalmente na extremidade de um fio graduado em metros. O disco é arriado na água até se perder de vista, sendo essa profundidade registada.

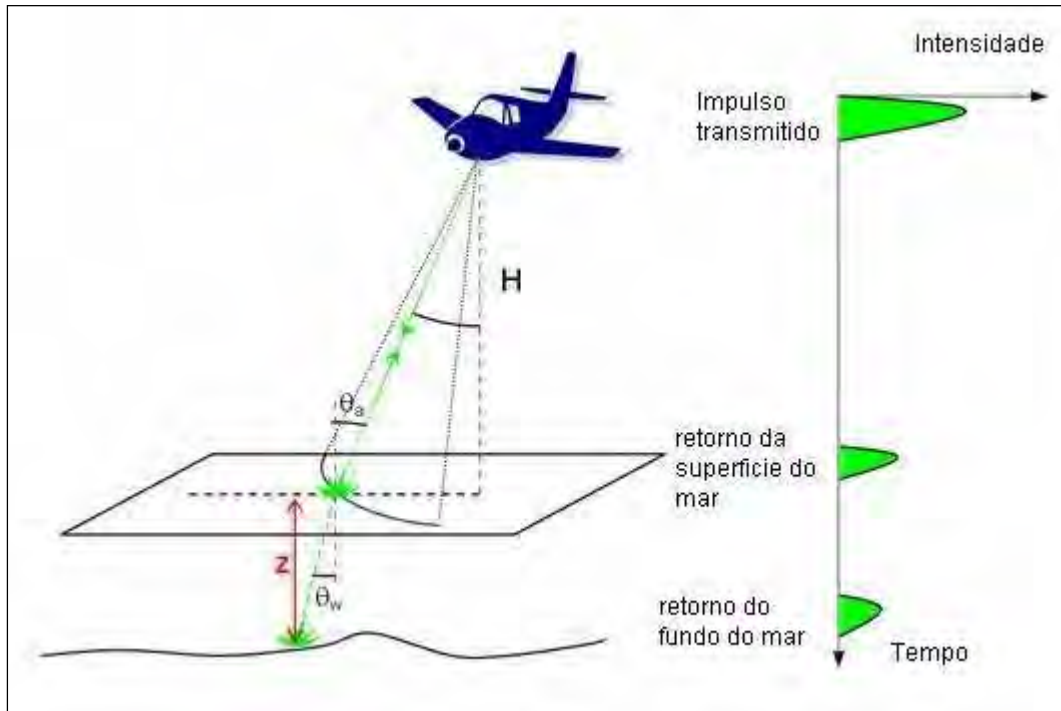



Figura 3.44 "Princípio do funcionamento Lidar"

6.1.2. Capacidades e limitações

Os sistemas laser são eficientes em águas pouco profundas devido à sua elevada produtividade [Axelsson e Alfredsson, 1999]. Esta produtividade resulta da elevada velocidade de sondagem e da largura da faixa coberta que é independente da profundidade. Por outro lado, os sondadores multifeixe são operados com velocidades reduzidas de sondagem e a faixa sondada é proporcional à profundidade da água (usualmente 3 vezes a profundidade média).

Os sistemas laser fornecem uma boa cobertura, próxima da cobertura total do fundo, em condições extrema de salinidade e temperatura, onde os sistemas acústicos apresentam um pobre desempenho.

Inquestionavelmente, a segurança é uma grande vantagem da operação com os sistemas laser, particularmente onde existem perigos submersos que possam por em risco a navegação na superfície.

Apesar das capacidades mencionadas acima, os sistemas laser são muito sensíveis ao material em suspensão e à turbidez da coluna de água. A profundidade máxima de operação, em condições ótimas, i.e. em águas muito limpas, é da ordem dos 50-70 metros.

6.2. Sistemas Eletromagnéticos Aerotransportados

Os sistemas de indução magnética aerotransportados têm sido utilizados desde há 40 anos na detecção de depósitos de minerais metálicos altamente condutivos. Os desenvolvimentos desta tecnologia têm permitido a utilização dos princípios de indução magnética no mapeamento de estruturas do fundo existentes em águas pouco profundas. Informação detalhada sobre estes sistemas pode ser encontrada em Zollinger et al. [1987] e Smith e Keating [1996].

6.2.1. Princípios de operação

Os princípios de operação destes sistemas baseiam-se nas técnicas de levantamentos geofísicos de medição da condutividade elétrica ou da espessura de uma camada de condutividade.

Um dipolo magnético de transmissão, colocado num helicóptero ou num avião de asa fixa produz um campo magnético, o campo primário, e o receptor rebocado é utilizado para detector o campo magnético secundário induzido na terra.

Assumindo camadas horizontais, o processamento da informação no domínio do tempo ou da frequência pode ser utilizado para determinar a condutividade, σ_w, e a espessura da camada de água, i.e. a profundidade da água e condutividade, σ_s, do fundo do mar (Figura 3.45).

6.2.2. Capacidades e limitações

Estes sistemas não acústicos, devido às baixas frequências utilizadas, têm capacidade de operar sobre o gelo espesso. No entanto, este sistema está limitado à operação em profundidades inferiores a 100 metros e têm, até ao presente, sido utilizados unicamente em trabalhos de reconhecimento.

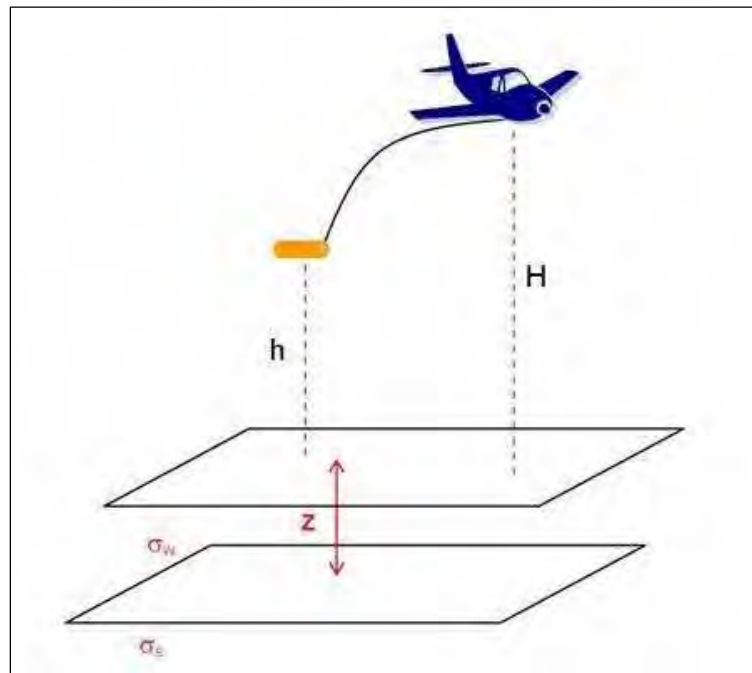



Figura 3.45 "Princípio de funcionamento do sistema eletromagnético"

6.3. Detecção remota

Esta secção apresenta a estimação da profundidade derivada da fotografia aérea e de altimetria satélite como método adicional para a cobertura de áreas extensas.

6.3.1. Foto-batimetria

É prática corrente a utilização da fotografia aérea para delineação da linha de costa e, algumas vezes, muito útil para atividades de reconhecimento, planeamento de levantamentos hidrográficos, localização de baixos e descrição qualitativa do fundo submarino, em vez de método para a determinação da profundidade.

6.3.1.1. Princípios de operação

Os processadores digitais de imagem têm capacidade para correlacionarem a intensidade luminosa com a profundidade. No entanto, a variação na intensidade luminosa depende também da existência de material em suspensão e das propriedades refletivas do fundo. Portanto, deve ser feita uma calibração local para ter em conta estas variações.

6.3.1.2. Capacidades e limitações

A aplicação da foto-batimetria, dentro das presentes limitações desta tecnologia, permanece principalmente como uma ferramenta de reconhecimento e de planeamento em áreas onde a informação batimétrica é inexistente ou insuficiente.

6.3.2. Outros

As imagens satélites na banda do visível podem ser utilizadas de forma idêntica à foto-batimetria aérea. No entanto, os satélites podem estar equipados com altímetros para o mapeamento da superfície dos oceanos e, com processamento adequado dos dados, é possível estimar as profundidades em todo o globo.

A superfície do oceano apresenta uma forma irregular que segue em geral a topografia do fundo do mar. As estruturas no fundo submarino, tais como os montes submarinos, contribuem para a deflexão da vertical, que causa um desnível na superfície e consequentemente a água do mar é puxada acumulando-se na forma de uma bolsa na superfície do mar. A superfície do oceano pode ser mapeada através de um altímetro satélite e a anomalia, i.e. a diferença entre a superfície observada e a superfície teórica, tal como a gerada pelo elipsóide WGS84, pode ser determinada e a profundidade da água estimada (Figura 3.46).

A integração da altimetria satélite com medições batimétricas pode produzir um conjunto de dados mais fiáveis, contribuindo para o conhecimento do fundo submarino em áreas onde os levantamentos hidrográficos são escassos [Smith e Sandwell, 1997].

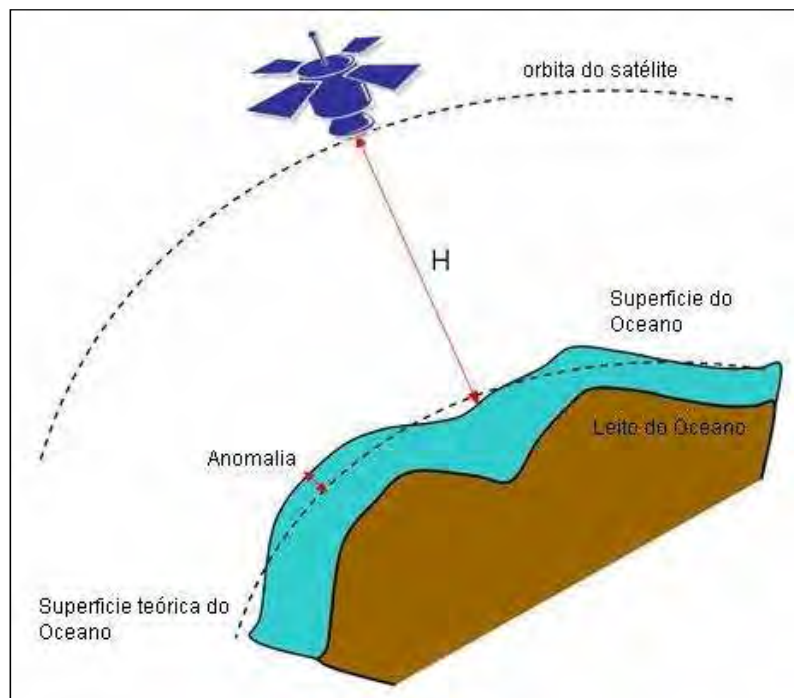



Figura 3.46 "Batimetria derivada de altimetria satélite"

6.4. Sistemas mecânicos

Os sistemas mecânicos foram os primeiros a ser utilizados na medição de profundidades. No entanto, estes sistemas continuam válidos e a ser utilizados nos nossos dias.

Os sistemas estudados até agora efetuam medições indiretas e são sensíveis às características da água. Em condições típicas, erros grosseiros na medição de profundidade têm probabilidade de ocorrer devido a reflexões na coluna de água, não relacionadas com o fundo e podem ser causados

por: algas, cardumes de peixe, *deep scattering layer*, variações térmicas e sedimentos em suspensão. Adicionalmente, podem ocorrer erros próximos de cais, onde a detecção do eco é efetuada pelos lóbulos secundários, provenientes do próprio cais.

Os métodos mecânicos (fio-de-prumo ou vara de prumar) não são sensíveis às condições ambientais e podem ser utilizados como métodos alternativos.

A rocega por barra ou por cabo são técnicas que permitem detectar profundidades mínimas sobre destroços e obstruções garantindo profundidades mínimas, por exemplo ao longo de canais de navegação.

6.4.1. Fio-de-prumo e vara de prumar

O fio-de-prumo é um instrumento utilizado pelo hidrógrafo para resolver ambiguidade de interpretação de sondas anómalas.

Em águas transparentes, o fio-de-prumo ou a vara de prumar podem ser utilizados para determinar as profundidades mínimas sobre os pontos avistados da superfície. Em outras situações, a detecção e a medição podem ser mais difíceis e os métodos de rocega podem constituir-se como alternativa.

6.4.1.1. Descrição

O fio-de-prumo é uma linha graduada, com marcas que facilitam a leitura da profundidade e com uma massa de chumbo na extremidade. O fio-de-prumo é utilizado para determinar a profundidade da água, geralmente, em profundidades inferiores a 50 metros.

Para corrigir o efeito de alongamento do fio é usualmente introduzido uma correção na medição. Este erro foi limitado pela introdução de um fio metálico sem deformação em condições normais de utilização no interior do cabo.

A vara de prumar é uma régua graduada utilizada na medição direta da profundidade. Geralmente é utilizada em profundidades inferiores a 4 metros.

Como anteriormente referido, atualmente estes instrumentos são utilizados na verificação de sondas anómalas detectadas por sistemas acústicos em fundos baixos.

6.4.1.2. Fontes de erro

As fontes de erro na medição da profundidade com o fio-de-prumo são principalmente devidas a:

a) Curvatura do cabo induzida pela corrente, traduz-se em erro na determinação da profundidade. A sua correção pode ser problemática e, por essa razão, é recomendável realizar medições de profundidade em condições de corrente pouco significativa. Deve ser também minimizado o efeito resultante da velocidade residual da embarcação.

b) Arfagem contribui diretamente para o erro na medição da profundidade. A arfagem dificulta também a leitura da profundidade; para ultrapassar esta dificuldade são efetuadas médias entre as medições na crista e na cava das ondas.

6.4.1.3. Operação, registo e processamento de dados

A medição direta da profundidade deve ser efetuada com a embarcação a pairar e, se possível, evitando períodos de grandes correntes. É usual, entre medições sucessivas de profundidade, manter ao fio-de-prumo na água para detectar eventuais estruturas proeminentes.

6.4.2. Rocega por barra (*bar sweep*)

A cobertura batimétrica por feixe simples restringe-se à medição de profundidade ao longo das fiadas, deixando a faixa entre fiadas sem cobertura ou informação detalhada, apesar do sonar lateral poder ser utilizado para a busca e localização de estruturas proeminentes no fundo entre as fiadas feixe simples. Para picos rochosos ou destroços, o sondador de feixe simples pode não detectar a profundidade mínima pelo eco ser demasiado fraco para ser detectado pelo sondador. Esta é a situação particular de mastros ou de peças metálicas salientes em destroços submarinos.

Para efeitos de segurança da navegação, o uso de uma rocega mecânica precisa, por barra ou por cabo, é um meio adequado para garantir uma profundidade mínima ao longo de uma área ou canal de acordo com a publicação S-44, e pode ser considerada adequada para os levantamentos de Ordem Especial e de Ordem 1.

6.4.2.1. Descrição

O varrimento é efetuado com uma barra com cerca de 5-6 metros de comprimento. As extremidades da barra devem apresentar peso adicional para evitar a tendência de elevação da barra, quando em movimento. A barra é suspensa por baixo da embarcação por cabos graduados

Este instrumento é muito simples de produzir. Testes de tentativa erro podem ser utilizados para atingir a melhore solução.

Este equipamento é muitas vezes mais eficaz e mais fácil de utilizar que a rocega por cabo.

6.4.2.2. Metodologia de operação

A barra para a rocega deve ser suspensa na horizontal por baixo da embarcação ou navio. O sistema de rocega deve estar equipado com sensores de vibração (*rockers)* ou outros sensores para registar o contacto com o fundo.

A profundidade da barra deve ser referida ao *Datum* vertical, a altura da maré deve ser registada durante a operação de rocega, sendo a profundidade devidamente reduzida.

Deve ser efetuada uma cobertura completa da área de interesse para a navegação á profundidade de segurança. Caso seja detectado uma obstrução; deve ser efetuada uma busca total do fundo na sua vizinhança para confirmar que a profundidade mínima é detectada.

6.4.3. Rocega por cabo

Como alternativa à rocega por barra, a rocega por cabo pode ser utilizada para determinar a profundidade mínima de uma obstrução quando, pela natureza geral o terreno visível, seja de suspeitar da existência de um pico rochoso ou obstrução.

Informação detalhada sobre a rocega por cabo pode ser encontrada em NOAA [1976].

6.4.3.1. Descrição

A rocega é constituída por duas pequenas portas de arrasto (idênticas às utilizadas na pesca do arrasto). Estas portas encontram-se ligadas por uma amarra com 40 a 60 metros. A rocega é efetuada por reboque deste conjunto, através de dois cabos ligados às portas de arrasto, usualmente cerca de 60 metros a ré da embarcação NOAA [1976].

REFERÊNCIAS

Artilheiro, F. (1996)	*"Analysis and Procedures of Multibeam Data Cleaning for Bathymetric Charting"*	Master"s Report, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton New Brunswick, Canada.
Axelsson, R. and M. Alfredsson (1999)	*"Capacity and Capability for Hydrographic Missions"*	US Hydrographic Conference 1999.
Clay, C. e H. Medwin (1977)	*"Acoustical Oceanography"*	Wiley and Sons, Toronto.
de Moustier, C. (1988)	*"State of the Art in Swath Bathymetry Survey Systems"*	International Hydrographic Review, LXV(2), p. 25.
de Moustier, C. (1993).	*"Signal Processing for Swath Bathymetry and Concurrent Seafloor Acoustic Imaging"*	Acoustic Signal Processing for Ocean Exploration, J.M.F. Moura and I.M.G. Lourtie Eds., pp. 329-354.
Godin, A. (1996).	*"The Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding Systems"*	Proceedings of the Canadian Hydrographic Conference "96, Halifax, NS, Canada, pp. 25-31.
Guenther, G., R. Thomas, and P. LaRocque (1996).	*"Design Considerations for Achieving High Accuracy with the SHOALS Bathymetric Lidar System"*	SPIE: Laser Remote Sensing of Natural Waters: From Theory to Practice. 15, pp. 54-71.
Hare, R. (1995).	*"Depth and Position Error Budgets for Multibeam Echosounding"*	International Hydrographic Review (LXXII), Monaco, pp 37-69.
Hughes Clarke, J. (2000).	*"Present-day Methods of Depth Measurement"*	In: P. Cook and C. Carlton (eds) Continental Shelf Limits - The Scientific and Legal Interface. Oxford University Press, New York.
IHO (1994).	*"Hydrographic Dictionary. Special publication No. 32, 5th edition"*	International Hydrographic Organization, Monaco.
IHO (2008).	*"IHO Standards for Hydrographic Surveys. Special publication No. 44, 5th edition"*	International Hydrographic Organization, Monaco.
Kinsler, L., A. Frey, A. Coppens, and J. Sanders (1982).	*"Fundamentals of Acoustics".*	Wiley and Sons, Toronto.
Lurton, X. (2002).	*"Acoustical Measurement Accuracy Modelling for Bathymetric Sonars"*	Canadian Hydrographic Conference 2002.
NOAA (1976).	*"Hydrographic Manual. 4th edition"*	National Oceanic and Atmospheric Administration. US Department of Commerce.
Pφhner, F. (1993).	*"Model for Calculation of Uncertainty in Multibeam Depth Soundings"*	Report from Simrad Subsea AS, Horten, Norway, FEMME 93, 16 p.
Pickard, G. and W. Emery (1990).	*"Descriptive Physical Oceanography – An Introduction, 5th edition"*	Pergamon Press, Oxford.
Seippel, R. (1983).	*"Transducers, Sensors and Detectors"*	Prentice-Hall.
Smith, R. and P. Keating (1996).	*"The usefulness of multicomponent, time-domain airborne electromagnetic measurements"*	Geophysics, Vol. 61, No. 1, pp. 74–81.
Smith, W. and D. Sandwell (1997).	*"Global Seafloor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Sounding"*	Science 277. pp. 1956-1962.
OMG (1996).	*"Multibeam Sonar Surveying Training Course. Ocean Mapping Group"*	University of New Brunswick.
Urick, R. (1975).	*Principles of Underwater Acoustics.*	McGraw-Hill, Toronto.
Zollinger, R., H.	*"Airborne Electromagnetic Bathymetry"*	Geophysics, Vol. 52 no. 8, pp. 1172-

Morrinson, P. Lazenby, and A. Becker (1987).	1137.

BIBLIOGRAFIA

Andersen, O. and P. Knudsen (1998).	*"Global Gravity Field from ERS1 and GEOSAT Geodetic Mission Altimetry"*	Journal Geophysics Research 103(C4), pp. 8129-8137.
Arabelos, D. (1997).	*"On the Possibility to Estimate the Bottom Topography from Marine Gravity and Satellite Altimetry Data Using Collocation"*	In: R. Forsberg, M. Feissel, R. Dietrich (eds) Geodesy on the Move Gravity, Geoid, Geodynamics, and Antarctica IAG Symposia 119, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, pp. 105-112.
Burtch, R. (2002).	*"Lidar Principles and Applications"*	IMAGIN Conference 2002, Traverse City.
Calmant, S. and N. Baudry (1996).	*"Modelling Bathymetry by Inverting Satellite Altimetry Data: A Review"*	Marine Geophysics Research 18, pp. 23-134.
Collet, C., J. Provost, P. Rostaing, P. Pérez, and P. Bouthemy (2000).	*"SPOT Satellite Data Analysis for Bathymetric Mapping"*	IEEE, pp. 964-967.
Denbigh, P. (1989).	*"Swath bathymetry: Principles of operation and an analysis of errors"*	IEEE Journal of Oceanic Engineering 14, pp. 289–298.
Dixon, T., M. Naraghi, M. McNutt, and S. Smith (1983).	*"Bathymetric Prediction from SEASAT Altimeter Data"*	Journal Geophysics Research 88, pp. 1563-1571.
Durey, L., G. Terrie, R. Arnone, and A. Martinez (1997).	*"Bottom Reflectance Maps from Hyperspectral Sensors: An Application to AAHIS Data"*	In Proceedings, ERIM Fourth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Orlando, pp. 17-19.
Geng, X. and A. Zielinski (1999).	*"Precise Multibeam Acoustic Bathymetry"*	Marine Geodesy, 22, pp. 157-167.
Guenther, G. (1985).	*"Airborne Laser Hydrography: System Design and Performance Factors"*	NOAA Professional Paper Series, National Ocean Service.
Guenther, G., A. Cunningham, P. LaRocque, and D. Reid (2000).	*"Meeting the Accuracy Challenge in Airborne Lidar Bathymetry"*	*Proceedings of EARSeL Symposium 2000*. Dresden, Germany.
Guenther, G., M. Brooks, and P. LaRocque (1998).	*"New Capabilities of the SHOALS Airborne Lidar Bathymeter"*	Proceedings 5th International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, ERIM International, October 5-7, San Diego, CA, Vol. I, 47-55.
Guenther, G., P. LaRocque, and W. Lillycrop (1994).	*"Multiple Surface Channels in SHOALS Airborne Lidar"*	SPIE: Ocean Optics XII, Vol. 2258, pp. 422-430.
Guenther, G., R. Thomas, and P. LaRocque (1996).	*"Design Considerations for Achieving High Accuracy with the SHOALS Bathymetric Lidar System"*	SPIE: Laser Remote Sensing of Natural Waters from Theory to Practice, Vol. 2964, pp. 54-71.
Hammerstad E. (1995).	*"Simrad EM 950/1000 - Error Model for Australian Navy"*	Extract of Report, Simrad Subsea AS, Horten, Norway, 4 p.
Hare, R. and A. Godin (1996).	*"Estimating Depth and Positioning Errors for the Creed/ EM 1000 Swath Sounding System"*	Proceedings of the Canadian Hydrographic Conference "96. Halifax, NS, Canada, pp. 9-15.
Herlihy, D., B. Hillard, and T. Rulon (1989).	*"National Oceanic and Atmospheric Administration Sea Beam System - Patch Test"*	International Hydrographic Review, Monaco, LXVI(2), pp. 119-139.
Hughes Clarke, J. (1995).	*"Reference Frame and Integration."*	Lecture IV-1 in Coastal Multibeam Hydrographic Surveys. United

		States / Canada Hydrographic Commission Multibeam Working Group, St. Andrews, New Brunswick, Canada.
Hughes Clarke, J. (1995a).	*"Interactive Bathymetry Data Cleaning"*	Lecture X-4 from Coastal Multibeam Hydrographic Surveys. United States / Canada Hydrographic Commission Multibeam Working Group, St. Andrews, New Brunswick, Canada.
Ingham, A. (1992).	*"Hydrography for the Surveyor and Engineer"*	3rd edition, BSP, Oxford.
Irish, J. and W. Lillycrop (1999).	*"Scanning Laser Mapping of the Coastal Zone: The SHOALS System"*	ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54. pp. 123-129.
Irish, J., J. McClung, and W. Lillycrop (2000).	*"Airborne Lidar Bathymetry: the SHOALS System"*	PIANC Bulletin. 2000 (103), pp. 43-53.
Jung, W. and P. Vogt (1992).	*"Predicting Bathymetry from Geosat ERM and Ship Borne Profiles in the South Atlantic Ocean"*	Tectonophysics 210, pp. 235-253.
Lillycrop W., L. Parson, and J. Irish (1996).	*"Development and Operation of the SHOALS Airborne Lidar Hydrographic Survey System"*	SPIE: Laser Remote Sensing of Natural Waters from Theory to Practice, Vol. 2964, pp. 26-37.
Lillycrop, W. and J. Banic, (1993).	*"Advancements in the US Army Corps of Engineers Hydrographic Survey Capabilities: The SHOALS System"*	Marine Geodesy, Vol. 15, pp. 177-185.
Lillycrop, W., J. Irish, and L. Parson (1997).	*"SHOALS System: Three Years of Operation with Airborne Lidar Bathymetry - Experiences, Capability and Technology Advancements"*	Sea Technology, Vol. 38, No. 6, pp. 17-25.
Lillycrop, W., L. Parson, L. Estep, P. LaRocque, G. Guenther, M. Reed, and C. Truitt (1994).	*"Field Test Results of the U.S. Army Corps of Engineers Airborne Lidar Hydrographic Survey System"*	Proceedings of the 6th Biennial National Ocean Service International Hydrographic Conference, Norfolk, VA, pp. 144-151.
Parson, L., W. Lillycrop, C. Klein, R. Ives, and S. Orlando (1996).	*"Use of LIDAR Technology for Collecting Shallow Bathymetry of Florida Bay"*	Journal of Coastal Research, Vol. 13, No. 4.
Pope, R., B. Reed, G West, and W. Lillycrop. (1997).	*"Use of an Airborne Laser Depth Sounding System in a Complex Shallow-water Environment"*	Proceedings of Hydrographic Symposium XVth International Hydro Conference. Monaco.
Quinn, R., (1992),	*"Coastal Base Mapping with the LARSEN Scanning Lidar System and Other Sensors"*	Proceedings, 5th Biennial National Ocean Service International Hydrographic Conference, Baltimore.
Riley, J. (1995).	*"Evaluating SHOALS Bathymetry Using NOAA Hydrographic Survey Data"*	Proceedings 24th Joint Meeting of UNIR Sea Bottom Surveys Panel, Tokyo, Japan.
Sinclair, M. (1998).	*"Australians Get on Board with New Laser Airborne Depth Sounder"*	Sea Technology, June 1998, pp. 19-25.
Sinclair, M. (1999).	*"Laser Hydrography - Commercial Survey Operations"*	Hydro 99.
Smith, R. and M. Smith (2000).	*"Airborne Lidar and Airborne Hyperspectral Imagery: A Fusion of Two Proven Sensors for Improved Hydrographic Surveying"*	Proceedings Canadian Hydrographic Conference 2000.
Thomas, R. and G. Guenther (1990).	*"Water Surface Detection Strategy for an Airborne Laser Bathymeter"*	SPIE: Ocean Optics X, Vol. 1302, pp. 597-611.

USACE (2002).	*“Hydrographic Surveying Manual”*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
Vergos, G. and M. Sideris (1998).	*“On Improving the Determination of the Gravity Field by Estimating the Bottom Ocean Topography with Satellite Altimetry and Shipborne Gravity Data”*	Department of Geomatics Engineering, University of Calgary.
Whitman, E. (1996).	*“Laser Airborne Bathymetry - Lifting the Littoral”*	Sea Technology, August 1996, pp. 95-98.
Wozencraft, J. (2001).	*“The Coastal Zone Revealed Through Shoals Lidar Data”*	Proceedings US Hydrographic Conference 2001.
Wright, C. and J. Brock (2002).	*“EAARL: A LIDAR for Mapping Shallow Coral Reefs and Other Coastal Environments”*	Seventh International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments Proceedings 2002.
Yakima, W., Wilt M., H. Morrison, K. Lee, and N. Goldstein (1989).	*“Electromagnetic Sounding in the Columbia Basin”*	Geophysics, Vol. 54, No. 8, pp. 952-961.

ANEXO - REFERÊNCIAL E SISTEMAS DE COORDENADAS

Referencial e Sistemas de Coordenadas

A determinação de profundidade é efetuada numa plataforma em condições dinâmicas. Normalmente, é utilizado um sistema de referência (sistema de coordenadas da embarcação) com três eixos ortogonais para localizar a bordo os sensores hidrográficos e medir a atitude e arfagem da plataforma de sondagem.

A atitude da embarcação consiste em deslocamentos angulares nesses três eixos. O balanço (*roll*) transversalmente e no eixo dos xx; o cabeceio (*pitch*) longitudinalmente e no eixo dos yy, e a proa (*yaw*) horizontalmente e no eixo dos zz.

Ao considerar um sistema de referência ortogonal de mão direita com o eixo dos zz a apontar para baixo, o balanço será positivo quando o lado de estibordo estiver mais baixo, o cabeceio será positivo quando a proa estiver para cima, e a proa será positiva no sentido de rotação dos ponteiros do relógio.

Considerando a figura A.1, a rotação θ_1 no plano yz, ou seja a rotação no eixo dos xx, pode ser expressa pela matriz de rotação:

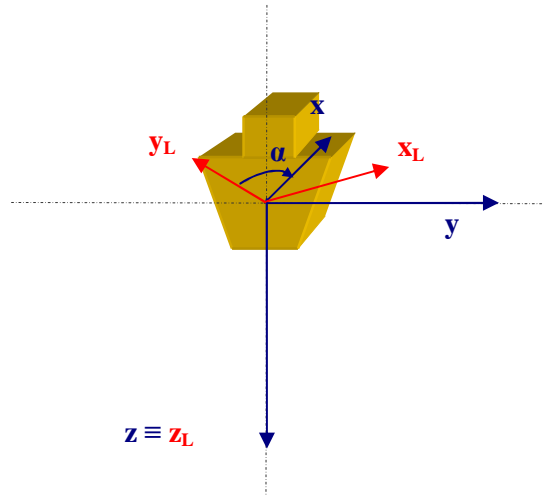



Figura A.1. "Sistema de coordenadas da embarcação"

$$R_1(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad \textbf{(A.1)}$$

E as rotações nos eixos dos yy e zz são, respectivamente:

$$R_2(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix}, \quad \textbf{(A.2)}$$

$$R_3(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad \textbf{(A.3)}$$

A transformação que resulta de três rotações sequenciais é expresso pelo produto das matrizes de rotação. As rotações sucessivas são aplicadas para a esquerda deste produto.

Considerando as rotações sucessivas (θ_1, θ_2, θ_3) nos eixos dos xx, yy e zz, a matriz de transformação é dada por:

$$R_3(\theta_3) \cdot R_2(\theta_2) \cdot R_1(\theta_1) =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos(\theta_3)\cos(\theta_2) & \sin(\theta_3)\cos(\theta_1) + \cos(\theta_3)\sin(\theta_2)\sin(\theta_1) & \sin(\theta_3)\sin(\theta_1) - \cos(\theta_3)\sin(\theta_2)\cos(\theta_1) \\ -\sin(\theta_3)\cos(\theta_2) & \cos(\theta_3)\cos(\theta_1) - \sin(\theta_3)\sin(\theta_2)\sin(\theta_1) & \cos(\theta_3)\sin(\theta_1) + \sin(\theta_3)\sin(\theta_2)\cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_2) & -\cos(\theta_2)\sin(\theta_1) & \cos(\theta_2)\cos(\theta_1) \end{bmatrix} \quad \textbf{(A.4)}$$

As profundidades medidas, inicialmente referidas ao referencial da embarcação, necessitam de ser posicionadas num sistema de coordenadas local. Esse sistema local poderá ser um sistema tri-ortogonal de mão esquerda com o eixo dos xx a apontar para Leste, o eixo dos yy na direção do Norte geográfico, e o eixo dos zz a apontar para baixo.

Um feixe com um trajeto R e ângulo β (Figura A.2), numa embarcação de sondagem com *roll*, *pitch* e proa (respectivamente: θ_R, θ_P, α), será transferido do sistema de coordenadas tri-ortogonal de mão direita da embarcação $(x, y, z)_V$ para o sistema de coordenadas tri-ortogonal de mão esquerda local $(x, y, z)_L$ através da rotação no eixo dos xx do ângulo de *roll* recíproco ($-\theta_R$), da rotação no eixo dos yy do ângulo de *pitch* recíproco ($-\theta_p$) e da rotação no eixo dos zz do ângulo de proa recíproco ($-\alpha$).

E, uma vez que os dois eixos dos zz são positivos para baixo e o sistema de coordenadas local é de mão esquerda e o sistema de coordenadas da embarcação é de mão direita, é necessário também trocar as coordenadas x e y na transformação do sistema de coordenadas da embarcação para local. Isto é efetuado aplicando a matriz de rotação R_{xy}.

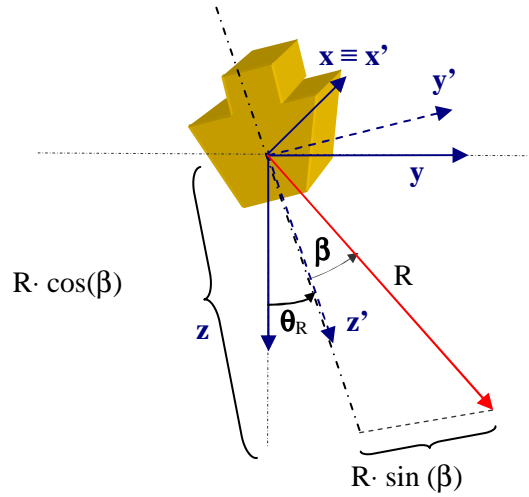



Figura A.2 "Sistemas de coordenadas local e da embarcação"

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_L = Rxy \cdot R_3(-\alpha)\cdot R_2(-\theta_P)\cdot R_1(-\theta_R)\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_V = T(\alpha,\theta_P,\theta_R)\begin{bmatrix} 0 \\ R\sin(\theta) \\ R\cos(\theta) \end{bmatrix}_V \qquad \textbf{(A.5)}$$

Em que R_{xy} é dado por:

$$Rxy = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T(\alpha,\theta_P,\theta_R) = \begin{bmatrix} \sin(\alpha)\cos(\theta_P) & \cos(\alpha)\cos(\theta_R)+\sin(\alpha)\sin(\theta_P)\sin(\theta_R) & -\cos(\alpha)\sin(\theta_R)+\sin(\alpha)\sin(\theta_P)\cos(\theta_R) \\ \cos(\alpha)\cos(\theta_P) & -\sin(\alpha)\cos(\theta_R)+\cos(\alpha)\sin(\theta_P)\sin(\theta_R) & \sin(\alpha)\sin(\theta_R)+\cos(\alpha)\sin(\theta_P)\cos(\theta_R) \\ -\sin(\theta_P) & \cos(\theta_P)\sin(\theta_R) & \cos(\theta_P)\cos(\theta_R) \end{bmatrix}$$

onde $T(\alpha,\theta_P,\theta_R)$ corresponde à transformação do sistema de coordenadas da embarcação para o sistema de coordenadas local.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_L = \begin{bmatrix} (\cos(\alpha)\cos(\theta_R)+\sin(\alpha)\sin(\theta_P)\sin(\theta_R))\cdot R\sin(\beta)+(-\cos(\alpha)\sin(\theta_R)+\sin(\alpha)\sin(\theta_P)\cos(\theta_R))\cdot R\cos(\beta) \\ (-\sin(\alpha)\cos(\theta_R)+\cos(\alpha)\sin(\theta_P)\sin(\theta_R))\cdot R\sin(\beta)+(\sin(\alpha)\sin(\theta_R)+\cos(\alpha)\sin(\theta_P)\cos(\theta_R))\cdot R\cos(\beta) \\ \cos(\theta_P)\sin(\theta_R)\cdot R\sin(\beta)+\cos(\theta_P)\cos(\theta_R)\cdot R\cos(\beta) \end{bmatrix}$$

De notar que o ângulo do feixe é positivo para estibordo e negativo para bombordo.

CAPÍTULO 4 - CLASSIFICAÇÃO DO FUNDO MARINHO E DETECÇÃO DE ESTRUTURAS

1. INTRODUÇÃO

1.1 A Hidrografia inclui a descrição das características dos mares para uma diversidade de propósitos, não se restringindo apenas aos relacionados com a navegação. O advento do sonar e dos sondadores de varrimento permite, atualmente, uma descrição mais completa e detalhada, para o benefício de uma navegação mais segura e para outras utilizações. Obviamente, é inviável detectar todas as estruturas em todas as profundidades, pelo que a OHI definiu o volume mínimo das estruturas que devem ser pesquisadas e identificadas em cada área específica. A classificação do fundo marinho tem sido utilizada em operações de guerra de minas durante muitos anos, mas o advento dos *softwares* de classificação automática permitiu uma utilização mais ampla, especialmente na pesca e na indústria de recursos.

1.2 Neste capítulo, as frases classificação do fundo marinho, caracterização do fundo marinho, e detecção de estruturas e detecção de objetos são sinónimos.

2. DETECÇÃO DE ESTRUTURAS NO FUNDO MARINHO

2.1. Antecedentes

2.1.1 Para garantir a segurança da navegação, é necessário detectar as estruturas existentes no fundo do mar que possam constituir um perigo para a navegação, quer sejam naturais ou artificiais. Uma estrutura (*feature*) é definida como sendo algo que se encontra no fundo do mar e que tem características diferentes do resto da área circundante. Pode ser qualquer coisa desde uma pedra isolada num fundo de areia plano a um navio afundado ou qualquer outra obstrução. A esta atividade é chamada detecção de estruturas no fundo do mar. A detecção de estruturas pode também ser usada para detectar e identificar estruturas que são do interesse de outras atividades marítimas, tais como estruturas semelhantes a minas e a cabeças de poços petrolíferos. Estas últimas podem não ser relevantes para a navegação, mas são, no entanto, importantes para as atividades ligadas à exploração petrolífera.

2.1.2 Um levantamento hidrográfico tradicional irá permitir obter dados batimétricos de uma área através da execução de uma série de fiadas de sondagem regulares em toda a sua extensão. A cobertura com um Sistema Sondador Multifeixe (SMF) ou um Sonar Lateral (SL) é utilizada para a detecção de estruturas e para fornecer informações sobre a classificação do fundo do mar. Nalguns casos, a detecção de estruturas é mais importante do que a aquisição de dados batimétricos. Estruturas específicas que tenham sido identificados com um SMF ou com um SL irão, normalmente, requerer uma pesquisa mais detalhada para determinar a sua posição e a profundidade mínima.

2.2. Normas

2.2.1 Existem uma série de normas relacionadas com a detecção de estruturas sendo as mais relevantes as contidas nas publicações S-44 e S-57 da OHI.

2.2.2. Publicação S-44 da OHI - Normas para Levantamentos Hidrográficos

2.2.1.1 A Tabela 1 da S-44, resumida nas tabelas 4.1 e 4.2 abaixo, especifica onde deverá ser realizada uma pesquisa de estruturas e as capacidades do sistema de detecção para cada Ordem do levantamento Hidrográfico.

2.2.1.2 Uma vez detectada qualquer estrutura considerada significativa, a sua posição e profundidade mínima devem ser determinadas de acordo com as normas detalhadas na Tabela 1 da S-44.

Tabela 4.1 "Requisitos de Pesquisa da S-44 da OHI"

Ordem da S-44 da OHI e exemplos de áreas		Requisitos de Pesquisa
Ordem Especial	Áreas onde o resguardo à quilha é critico.	Requerida uma busca total do fundo.
Ordem 1a	Áreas com profundidades inferiores a 100m e onde o resguardo à quilha é menos crítico, mas onde possam existir estruturas com interesse para a navegação de superfície	Requerida uma busca total do fundo.
Ordem 1b	Áreas com profundidades inferiores a 100m e onde o resguardo à quilha não é um requisito para a navegação de superfície esperada para a área	Não é requerida uma busca total do fundo.
Ordem 2	Áreas com profundidades superiores a 100m, não requerendo busca total do fundo	Não é requerida uma busca total do fundo.

Tabela 4.2 "Requisitos de Detecção dos Sistemas da S-44 OHI"

Ordem da S-44 da OHI	Capacidades de detecção do sistema
Ordem Especial	Estruturas cúbicas > 1.0 m
Ordem 1a	Estruturas cúbicas> 2.0 m em profundidades até aos 40m ou 10% da profundidade para além dos 40m
Ordem 1b	Não aplicável.
Ordem 2	Não aplicável.

2.2.3. Publicação S-57 da OHI - Normas para a Transferência de Dados Hidrográficos Digitais

2.2.3.1 A S-57 especifica "Zonas de Confiança" (ZOC), como o método de codificar a informação acerca da qualidade dos dados hidrográficos. As ZOC foram adotadas para proporcionar um meio simples e lógico de classificar todos os dados batimétricos e mostrar ao navegador a confiança que a autoridade cartográfica nacional lhes atribui. As áreas são classificadas identificando vários níveis de confiança que pode ser colocados subjacentemente aos dados usando uma combinação de exatidão da medição da profundidade e da determinação da posição, rigor da pesquisa do fundo marinho e conformidade com um plano de controlo aprovado de qualidade dos dados.

2.2.3.2 As ZOC A1, A2 e B são obtidas a partir de levantamentos hidrográficos recentes com as ZOC A1 e A2 a exigir uma pesquisa completa do fundo do mar, ou seja, uma detecção total das estruturas. As ZOC C e D refletem uma menor exatidão e menor qualidade dos dados, enquanto que a ZOC U significa que os dados hidrográficos da área não estão avaliados no momento da publicação, podendo existir levantamentos dessa área. As ZOC foram concebidas para ser representadas tanto nas cartas em papel, como um substituto dos atuais diagramas de confiança, como nos monitores eletrónicos.

2.2.3.3 Deve ser salientado que as ZOC são uma normalização cartográfica que não se destina a ser utilizada para especificar normas para levantamentos hidrográficos ou para a gestão da qualidade dos dados pelas autoridades hidrográficas. A exatidão das profundidades e das posições especificada para cada ZOC refere-se a erros da representação final das sondas e incluem para além dos erros dos levantamentos hidrográficos outros erros introduzidos no processo de produção da carta.

2.2.3.4 Os critérios S-57 das ZOC, no que se refere à detecção de estruturas, estão referidos na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 "Critérios de Detecção de Estruturas das ZOC"

S-57 ZOC	Requisitos de Pesquisa
ZOC A1	Foi realizada uma pesquisa total de toda a área, com a detecção de todas as estruturas significativas do fundo do mar e as respectivas profundidades determinadas. (ver Nota)
ZOC A2	
ZOC B	Não foi realizada a pesquisa total de toda a área pelo que podem existir estruturas que sejam perigosas para a navegação que não estão cartografadas.
ZOC C	Não foi realizada a pesquisa total de toda a área pelo que podem existir anomalias nas profundidades.
ZOC D	Não foi realizada a pesquisa total de toda a área pelo que podem existir grandes anomalias de profundidade.
ZOC U	a qualidade dos dados batimétricos ainda está em avaliação.

Nota: As estruturas significativas do fundo do mar são definidas na S-57 como aquelas que têm uma elevação em relação ás profundidades representadas maiores que:

0,1 x profundidade, em profundidades<10 m,

1,0 m em profundidades de 10-30 m e

(0,1 x profundidade) menos 2,0m em profundidades>30 m.

2.2.3.5 A S-57 também detalha a exatidão relevante requerida na determinação da profundidade e da posição das estruturas.

2.2.4. Detecção de Estruturas Perigosas

2.2.4.1 O hidrógrafo deve estar ciente de que muitas estruturas potencialmente perigosas para a navegação não se encaixam no critério da "estrutura cúbica" da S-44, como por exemplo, os mastros dos navios afundados e cabeças de poços. No entanto, os critérios das ZOC têm em consideração essas estruturas se tiverem uma sonda mínima, com um determinado valor estabelecido acima das profundidades representadas. A capacidade para detectar tais estruturas é um aspecto crítico quando se equaciona o tipo de sistema a ser usado para realizar a sua detecção. Por exemplo, os tipos de estruturas acima referidos são normalmente detectados pelo Sonar Lateral, mas podem não ser detectadas por um Sistema Multifeixe, pelo LIDAR e outros sistemas equivalentes devido, por exemplo, à área de insonificada pelo feixe no fundo ou a algoritmos de "filtragem".

2.2.4.2 Na perspectiva do hidrógrafo o objetivo do varrimento do sonar é a insonificação da área entre fiadas de sondagem adjacentes, afim de detectar qualquer estrutura relevante para o navegador. Embora não seja possível definir de forma simples o comprimento mínimo de um objeto a detectar, pode considerar-se que estruturas com menos de três metros de comprimento têm uma baixa probabilidade de ser suficientemente salientes em relação ao fundo do mar para causar preocupação. Haverá, naturalmente, alturas em que não será

assim (por exemplo em áreas de coral ou quando se pretende detectar mastros de navios). Nestes casos o hidrógrafo deve examinar todas as fontes de informação disponíveis antes de decidir qual é o comprimento mínimo da estrutura que se pretende detectar.

2.2.4.3 Note-se que em todos os cálculos que se seguem, envolvendo velocidades em relação ao fundo que não devem ser excedidas, é considerado o comprimento da estrutura e não a sua altura. O valor utilizado para os cálculos é o comprimento máximo da estrutura sobre a qual incidem pelo menos cinco impulsos acústicos, sendo este valor considerado o mínimo para se materializar a detecção de um objeto. A quantidade de energia dos cinco impulsos acústicos que após incidir sobre a estrutura retorna ao transdutor é dependente:

Da forma da estrutura, da sua dimensão, da sua composição e do seu aspecto,

Das capacidades do sonar e

Da natureza do fundo do mar e outros fatores.

2.2.4.4 A intensidade do registo do eco irá depender da quantidade de energia que retorna ao transdutor após ser refletida na estrutura.

2.2.5. Requisitos Militares

2.2.5.1 As forças militares exigem muitas vezes a detecção de estruturas menores ou a maiores profundidades do que as necessárias para a segurança da navegação, por exemplo, pode-se pretender detectar estruturas com uma dimensão volumétrica de 0,5 m na plataforma continental, em profundidades de 200 m. As unidades dedicadas à guerra de minas, utilizando sensores especializados, visam detectar e classificar estruturas ainda menores. Embora estes aspectos reflitam capacidades particulares normalmente não requeridas ao hidrógrafo dedicado à cartografia náutica, há um efeito consequente no desenvolvimento de sistemas capazes de alcançar essas capacidades e de, provavelmente, ficarem disponíveis para o mercado comercial.

2.2.6. Relato de Estruturas

2.2.6.1 Sendo desejável investigar cada estrutura que preencha os critérios mencionados anteriormente, isso poderá não ser possível em áreas complexas. Os hidrógrafos poderão ter que recorrer ao seu bom senso para decidir que estruturas devem ser investigadas depois de considerar os recursos disponíveis e a provável utilização da área (calado de navios, etc.), assim como a provável importância da estrutura tendo em consideração as profundidades médias da área. Por exemplo, um baixio de 26 m de profundidade num fundo de profundidades médias de 28 m pode não justificar uma investigação adicional se o calado dos navios que utilizam a área é de apenas 12 m. Este será particularmente o caso se os navios que navegam na área, em algum ponto, devem atravessar zonas de profundidades médias de 20 m. Nestes casos, poderá apenas ser necessário assegurar que não há qualquer indicação de profundidades menores (por exemplo através de fiadas de sondagem adicionais, levantamento com sonar lateral, etc.).

2.2.6.2 Os critérios acima mencionados devem ser utilizados para determinar quando é que uma estrutura deve, ou não, ser incluída no Relatório do Levantamento Hidrográfico. Em áreas complexas esta lista pode tornar-se extensa, portanto o Relatório só deve incluir as estruturas que são verdadeiramente significativas em relação às profundidades médias e à navegação provável.

2.2.6.3 No final de cada levantamento, o hidrógrafo, sendo a única pessoa com todos os elementos à sua disposição, deve dar um parecer quanto ao estado de cada estrutura localizada, ou seja, destroços, tipo de fundo, o que ficou por examinar etc., sendo os resultados incluídos no seu relatório. Estruturas descobertas pela primeira vez, que podem

ser perigosas para a navegação de superfície ou submarina, ou estruturas cartografadas que se encontram significativamente alteradas devem ser comunicadas imediatamente ao Serviço Hidrográfico Nacional responsável. Estruturas não cartografadas em profundidades inferiores a 750 m serão normalmente consideradas para inclusão nos Avisos aos Navegantes.

2.3. Métodos de detecção de objetos

2.3.1. Introdução

2.3.1.1 A detecção de objetos pode ser realizada utilizando diferentes métodos. O sonar de varredura lateral (SVL) tem provas dadas na detecção de objetos e é ainda considerado como sendo o método de detecção mais fiável. No entanto, o SVL está sujeito a limitações operacionais uma vez que é normalmente rebocado pelo navio, o que introduz um erro no posicionamento dos objetos. Este erro pode ser reduzido através do uso de *transponders* no peixe de sonar e/ou com passagens em sentidos opostos sobre o objeto para obtenção de uma posição média. As operações com SVL estão limitadas pelo fato de não ser possível obter informação na vertical do peixe (nadir), o que requer fiadas com sobreposição suficiente para a detecção de objetos localizados no eixo da fiada adjacente.

2.3.1.2 Uma das maiores limitações do SVL é a velocidade de avanço requerida para se conseguir um número suficiente de impulsos sobre um determinado objeto. Com poucas exceções, isto limita as operações de SVL a cerca de 6 nós, o que representa uma maior taxa de esforço. O aparecimento do SMF permite o cumprimento dos requisitos de detecção de objetos a maiores velocidades com a consequente diminuição do esforço. No entanto, até à data, a detecção de objetos com uma dimensão que cumpra os requisitos de Ordem Especial da OHI e A1/A2 da ZOC, e detecção de outros objetos mais pequenos e potencialmente perigosos, não pode ser garantida com o SMF a menos que certas precauções sejam tomadas como a limitação da largura do feixe e o cálculo da velocidade de avanço necessária para obtenção de uma taxa de disparo apropriada.

2.3.1.2.1 A geometria do transdutor de SVL relativamente a um objeto é o fator chave que torna o SVL numa ferramenta tão bem sucedida na detecção de objetos. As sombras projetadas atrás de uma estrutura protuberante do fundo marinho são o indicador de que a estrutura natural ou o objeto foram sonorizados. A geometria do transdutor do SMF relativamente às estruturas presentes no fundo marinho resulta numa perca quase total da capacidade de projetar sombras. Um hidrógrafo que deseje utilizar o SMF para detecção de objetos tem que confiar nas outras potencialidades do SMF para a sua detecção. Estas potencialidades são a batimetria de alta resolução e a amplitude do sinal retroespalhado, emparelhadas com uma capacidade de posicionamento que permite uma elevada exatidão e repetibilidade. Adicionalmente, enquanto que um operador terá a capacidade de detectar objetos durante um levantamento de SVL, a detecção com recurso ao SMF é mais incerta nesta fase, e é normalmente necessário o pós-processamento dos dados para que se possam visualizar os resultados.

2.3.1.3 Podem ser usados outros sensores para a detecção de objetos como o sondador de feixe simples (SFS), o sonar de varredura frontal, o magnetómetro e métodos remotos como *Airborne LIDAR Bathymetry* (ALB) e *Airborne Electromagnetic Bathymetry* (AEB). Os métodos de detecção mecânicos são menos usados hoje em dia e incluem a rocega, o arraste e o mergulho subaquático.

2.3.2. Sonar de Varredura Lateral

2.3.2.1 O SVL de dois canais (bombordo/estibordo) é atualmente aceite como uma ferramenta essencial nos levantamentos, assumindo-se que nenhum levantamento na plataforma continental pode ser considerado completo sem que seja realizada uma varredura de sonar exaustiva e investigados todos os contactos.

2.3.2.2 Adicionalmente à localização de destroços e de obstruções que possam existir entre fiadas, o SVL fornece adicionalmente uma grande quantidade de informação sobre o fundo do mar. Estes dados, quando combinados com amostras do fundo e com a classificação do fundo marinho derivada dos contornos batimétricos, são de grande importância para aqueles que estão envolvidos em operações submarinas, anfíbias e de guerra de minas. A importância desta informação cresceu com os anos a um nível que, em muitos levantamentos, as considerações relativas ao sonar, em vez daquelas relativas à batimetria, governam a seleção da direção e do espaçamento das fiadas. Contudo, é necessário muito cuidado na preparação e verificação destes dados se se quiser aproveitar todo o seu potencial.

2.3.2.3 O SVL tem quatro funções principais quando utilizado em levantamentos hidrográficos:

- A detecção de destroços e de obstruções entre linhas de sondagem. Apesar do posicionamento preciso e da sonda reduzida não poderem ser determinados com o SVL, um sistema devidamente operado e afinado permitirá detectar praticamente todas as estruturas significativas existentes entre fiadas.

- A detecção de outras estruturas do fundo marinho. Corretamente usado, o SVL pode detectar estruturas do fundo marinho muito pequenas. Apesar de não serem perigosas para a navegação, as posições de tais estruturas, ou de grupos de estruturas, são de importância considerável em operações submarinas e de guerra de minas.

- A recolha de dados para classificação do fundo marinho. O conhecimento da textura do fundo do mar, combinada com amostras de sedimentos, é de grande importância para operações no fundo marinho e de guerra de minas, e para pescas e gestão de recursos.

- A identificação de áreas móveis no fundo do mar. A presença de ondas de areia e de enrugamentos (*ripples*) é indicadora de que o fundo do mar, numa área particular, é móvel. Nas rotas de navegação mais importantes tais áreas podem requerer levantamentos periódicos para assegurar a segurança da navegação.

2.3.3. Considerações Teóricas

2.3.3.1 A intensidade do sinal retornado por uma dada estrutura é governada por diversos fatores relacionados por uma expressão conhecida como a "equação sonar" que pode ser usada para determinar se um tipo particular de estrutura será ou não detectado. Uma boa explicação dos termos envolvidos nesta equação é dada no "*Report on the Detection of Depth Anomalies*", FIG/IHO 1981. Para um estudo mais aprofundado deste assunto deve ser consultado como livro de referência o "*Principles of Underwater Sound*" de R. J. Urick. Deve ser enfatizado que esta equação é apenas o ponto de partida para o cálculo da performance do SVL uma vez que não é possível conhecer todos os termos da equação.

2.3.3.2 Cobertura de curto alcance. Existe uma região próxima do peixe onde podem ocorrer falhas na cobertura de sonar. Estas falhas têm que ser consideradas em dois planos (ver Figura 4.1):

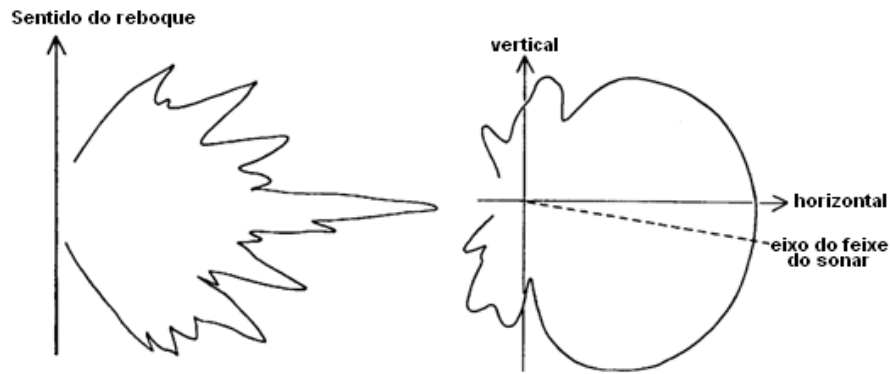



Figura 4.1 Cobertura horizontal e vertical do SVL

- O plano vertical. O feixe principal do sonar tem geralmente uma largura no plano vertical de cerca de 50º, com o eixo do feixe inclinado 10º para baixo. Existe portanto, uma região debaixo do peixe que fica fora do feixe principal; o tamanho desta região depende da distância entre os transdutores e o fundo marinho. A ideia de que esta área não é de todo sonorizada é incorreta. A não ser que o peixe esteja muito distante do fundo marinho, esta zona é coberta pelos lóbulos laterais dos transdutores e algumas partes receberão alguma energia sonora das franjas do lóbulo principal. O bordo de um feixe é geralmente definido como metade da máxima potência, e como tal, este não é um ponto de corte absoluto e existe alguma energia fora deste limite. Existe porém, uma falha de registo debaixo do peixe, mas esta é consideravelmente mais pequena que o pensado originalmente e pode ter apenas poucos metros de extensão. No entanto, esta falha deverá ser coberta pelo sonar nas linhas adjacentes.

- O plano horizontal. Existe uma área próxima do peixe (o campo próximo) onde os impulsos sonoros têm bordos paralelos. Como resultado, podem ocorrer falhas de cobertura entre impulsos sucessivos. A ausência de cobertura entre impulsos no campo próximo é função da velocidade do navio e da taxa de repetição do impulso. Para além desta área, a dispersão dos feixes fecha o intervalo entre as áreas cobertas, resultando em cobertura total. Portanto, é mais provável que se falhe a detecção de pequenos contactos na proximidade do peixe, do que daqueles que estão mais afastados.

2.3.3.3 Planeamento de áreas de busca. Podem ser utilizados dois métodos diferentes de planeamento de áreas de busca:

- Detecção de contactos próximos do peixe. A busca é planeada de forma a que o contacto mais pequeno que é requerido possa ser detectado próximo do peixe. O caso limite requer que tais contactos situados no campo próximo do feixe de sonar recebam cinco impulsos; fora desta área, o alargamento do feixe assegura que receberão pelo menos cinco impulsos.

- Detecção de contactos mais afastados do peixe. A zona onde os contactos pequenos poderão não ser detectados pode ser calculada para um determinado alcance lateral e velocidade sobre o fundo marinho. A separação entre fiadas pode ser ajustada para que varreduras de linhas adjacentes cubram o campo próximo da fiada anterior. Em alternativa, o espaçamento entre fiadas pode ser fixado e a velocidade ajustada para garantir que a cobertura total é alcançada. Portanto, para um alcance lateral de 150 m, e considerando uma velocidade à qual os pequenos contactos não podem ser detectados dentro dos primeiros 25 m, o espaçamento não deverá ser maior que 125 m.

2.3.3.4 O segundo dos métodos indicados acima é usualmente empregue numa área de busca uma vez que permite uma maior velocidade de avanço. Para um espaçamento entre fiadas de 125 m, utilizando um alcance lateral de 150 m, os contactos com 1 m serão detectados no campo próximo a uma velocidade de 3.6 nós. Confiando a sua detecção às linhas adjacentes, a velocidade permitida aumenta para 7 nós. Os detalhes do cálculo encontram-se no seguimento do texto (ver "Detecção de Objetos" e "Cálculo da Velocidade de Avanço").

2.3.3.5 Confirmação da performance do SVL. Enquanto que estes cálculos indicam as capacidades teóricas é essencial que a performance do SVL seja confirmada no terreno antes da sua utilização. Isto é conseguido pela seleção de uma estrutura adequada que reflita o tipo e dimensão da estrutura que é necessário detectar durante o levantamento e reboque do sonar sobre ela,. Ambos os canais de sonar, isto é, os dois bordos, e cada alcance lateral, devem ser ensaiados para determinar o maior alcance para detecção.

2.3.3.6 Posição do peixe de sonar lateral. O reboque do sensor de sonar à popa do navio tem várias vantagens incluindo afastar o sensor dos efeitos da movimentação do navio e a sua operação a uma altura do fundo marinho que permita a obtenção de uma sombra ótima. No entanto, existe uma desvantagem nisto, uma vez que também introduz incerteza na posição do peixe rebocado. Este erro tem três componentes:

- Uma componente ao longo da fiada, causada pela incerteza de quanto está o peixe atrás do navio; isto depende do comprimento de cabo largado, da profundidade do peixe e da catenária do cabo (os últimos dois variam com a velocidade do navio).

- Uma componente transversa à fiada, causada pela deflexão do peixe pela corrente (tidal ou residual) e pelas manobras do navio;

- Erros no posicionamento do navio ou da embarcação, que serão transferidos para o peixe.

2.3.3.7 A posição do peixe pode ser determinada usando um posicionamento acústico de linhas base ultra-curtas (USBL) que requer a montagem de transdutores e transreceptores no peixe e no navio; no entanto o rigor deste sistema deteriora-se rapidamente com o aumento do comprimento do reboque. Um método alternativo, em desenvolvimento na Austrália, utiliza a direção e o ângulo de depressão do cabo de reboque sobre a popa do navio, em conjunto com um modelo da catenária do cabo para predizer, com um rigor razoável, a posição do peixe.

2.3.3.8 Adicionalmente, a atitude do peixe pode variar longitudinalmente e em torno do seu eixo, e assim a direção dos feixes dos transdutores pode flutuar. Isto é especialmente verdade se o rumo ou a velocidade do navio mudarem frequentemente, e realça a necessidade de sobreposições generosas durante as varreduras de sonar. É quase certo que planear para os limites teóricos de performance conduzirá, na realidade, a falhas de cobertura.

2.3.3.9 Montagem de casco. O SVL pode ser montado no casco de um navio de superfície. A vantagem é que a sua posição, e portanto a sua orientação, é perfeitamente conhecida e consequentemente o posicionamento dos objetos detectados é relativamente fácil. A montagem de casco também permite liberdade de manobra do navio, uma vez que não há constrangimentos de reboque do sensor. Porém, existe um número de desvantagens na montagem de casco incluindo o efeito de movimento do navio na sonorização do SVL e na performance, a possível interferência mútua com outros sensores, por exemplo o SMF, e o fato de que é improvável que o SVL seja operado à altura ótima acima do fundo marinho. A montagem de casco é frequentemente o melhor método quando se opera em águas pouco profundas ou em áreas onde a topografia do fundo marinho constitui um

risco potencial, por exemplo em zonas com recifes. Caso contrário, as desvantagens da montagem de casco normalmente superam as vantagens.

2.3.4. Constrangimentos Operacionais

2.3.4.1 Estabilidade hidrodinâmica do peixe de sonar. Para a maioria das condições, o peixe é largamente desligado dos efeitos da movimentação do navio pela flexibilidade do cabo de reboque. A assumpção que normalmente é feita, é de que o peixe é completamente estável em *roll*, *pitch* e *yaw*, apesar de indubitavelmente ocorrer algum movimento nestes planos. O *roll* provavelmente tem um efeito pequeno na imagem de sonar, sendo compensado pelo largo ângulo no plano vertical. Uma listra permanente numa direção, que pode ser causada por uma barbatana torcida ou por uma coca no cabo pode, no entanto, originar uma quebra significativa de performance. Deve-se suspeitar que isto está a acontecer se um canal tiver uma qualidade de imagem diferente do outro.

2.3.4.2 Em casos extremos poderá ser necessário confiar apenas no canal bom e traduzir isto no planeamento das fiadas do levantamento. Os efeitos do *pitch* e do *yaw* são mais significativos; com um ângulo tão estreito no plano horizontal, estes movimentos podem fazer diminuir a probabilidade de detecção de pequenos objetos. Um objeto que receba pelo menos cinco impulsos com um peixe estável, pode apenas receber três ou quatro, se o peixe oscilar numa destas direções.

2.3.4.3 O problema da estabilidade do peixe é encarado como sendo menos importante que o da posição do peixe. Com mau estado do mar os efeitos da oscilação do peixe podem em geral ser claramente observados no registo. Sob estas condições, deve ser considerada a redução da probabilidade de detecção de pequenos objetos. Com o aumento do uso de compensadores de *heave* e de sensores de movimento para os sondadores, e a maior importância ligada à detecção de contactos pequenos, as condições requeridas pelo sonar podem ser o fator limitativo para um levantamento eficaz, em vez da performance do sondador.

2.3.4.4 Altitude do peixe. Para a maioria dos trabalhos, a altura ótima do peixe de sonar acima do fundo marinho é 10% do alcance lateral em utilização, isto é, para um alcance selecionado de 150 m o peixe deve estar 15 m acima do fundo marinho. Os transdutores de SVL estão direcionados ligeiramente para baixo, logo, rebocar o peixe demasiado próximo do fundo marinho pode reduzir a distância a partir da qual os ecos são recebidos. Se o peixe estiver demasiado alto as sombras acústicas podem não ser formadas atrás das obstruções, tornando-as mais difíceis de detectar. Isto é especialmente verdade em águas profundas onde tem que ser estabelecido um compromisso entre a necessidade de baixar o peixe até uma profundidade útil e manter uma velocidade de avanço razoável.

2.3.4.5 Em áreas em que o relevo do fundo marinho é muito alto poderá ser prudente rebocar o sonar mais alto que o normal; neste caso, a redução na sombra acústica nas estruturas mais salientes do fundo marinho deve ser tida em consideração. Este efeito é pior na proximidade do peixe onde a detecção de contactos pequenos já é mais difícil.

2.3.4.6 Em águas pouco profundas pode não ser possível rebocar o sonar tão distante do fundo marinho quanto o desejável. Apesar de se obter um registo ao longo de todo o alcance selecionado, este registo pode não corresponder a uma sonorização efetiva do fundo. Nestas condições a única solução é reduzir o alcance e o espaçamento entre fiadas.

2.3.4.7 Existe uma limitação adicional em águas pouco profundas: apenas com um pequeno comprimento de cabo os transdutores podem ficar muito próximo da superfície o que irá introduzir o problema do ruído de superfície (como a ondulação e a esteira do navio), que degrada a performance. E, com um pequeno comprimento de cabo, o peixe ser adversamente afetado pelo movimento do navio. Os efeitos da estratificação das águas e

da termoclina no SVL podem ser, normalmente, ignorados porque têm muito pouco efeito no alcance às frequências utilizadas.

2.3.4.8 Quando se investiga contactos com o peixe de sonar, este deverá estar sempre suficientemente afastado do fundo marinho para que passe em segurança por cima de uma obstrução no caso de acidentalmente a fiada ser realizada diretamente por cima dela. A sonda mínima sobre uma estrutura pode, na maioria dos casos, ser estimada inicialmente pelo comprimento da sombra obtido durante a busca na área.

2.3.4.9 Caso seja necessário rebocar o peixe a uma altura outra que a ótima, deverá ser sempre feita uma verificação para confirmar se o sistema continua a cumprir com os critérios de detecção e outros requisitos. A altura do peixe pode ser facilmente controlada através da combinação do comprimento de cabo largado com a velocidade do navio. A recolha rápida do cabo produz um estição no peixe e puxa-o rapidamente para cima, após esta subida inicial o peixe assenta novamente, descendo lentamente. Esta técnica pode ser muito útil para levantar o peixe sobre perigos inesperados. À medida que o comprimento de cabo largado aumenta este método torna-se menos eficaz.

2.3.4.10 Depressores. Alguns peixes de SVL podem ser equipados com depressores que levam o peixe mais fundo para um determinado comprimento de cabo ou velocidade de avanço. Enquanto que isto pode reduzir o comprimento de cabo requerido para reboque, há várias desvantagens na utilização de depressores:

- Aumento da tensão sobre o cabo, o que resulta no requisito de um guincho mais potente se houver necessidade de ajustar o comprimento de cabo no decorrer da fiada, e torna impraticável a operação manual dos guinchos;

- Um comprimento de cabo mais curto resulta numa maior transmissão do movimento do navio ao peixe;

- Podem reduzir o efeito que o aumento de velocidade e/ou a redução do comprimento de cabo têm na altura do peixe ao fundo marinho, negando portanto a utilização desta técnica para ultrapassar perigos inesperados.

2.3.4.11 Quando se opera o peixe próximo do fundo marinho é prudente assegurar que este é equipado com um mecanismo de disparo que lhe permita rodar sobre si mesmo, e ainda poder ser recolhido após um embate. Neste caso é possível que se perca a cauda do peixe, mas pelo menos este é recuperado. Alguns SVLs mais modernos evitam este problema de perca de caudas, tendo apenas barbatanas direcionadas para cima.

2.3.4.12 Direção de reboque. Em circunstâncias normais o SVL deve ser rebocado na direção da corrente predominante, para minimizar o efeito que esta tem no peixe, sob a forma de erros de posicionamento transversais à fiada. Onde os efeitos da corrente não forem um problema o SVL deve ser rebocado paralelamente aos contornos batimétricos. Isto minimiza a necessidade de ajuste contínuo do comprimento do cabo de reboque com a variação de profundidade.

2.3.4.13 No entanto, há exceções a estas regras. Particularmente, em áreas com ondas de areia, pode ser necessário rebocar o SVL perpendicularmente ao eixo das ondas de areia. Isto assegura que o SVL olha ao longo das cristas/cavas da onda de areia evitando a possibilidade de ocorrência de zonas de sombra onde os objetos não serão detectados, ver Figura 4.2.

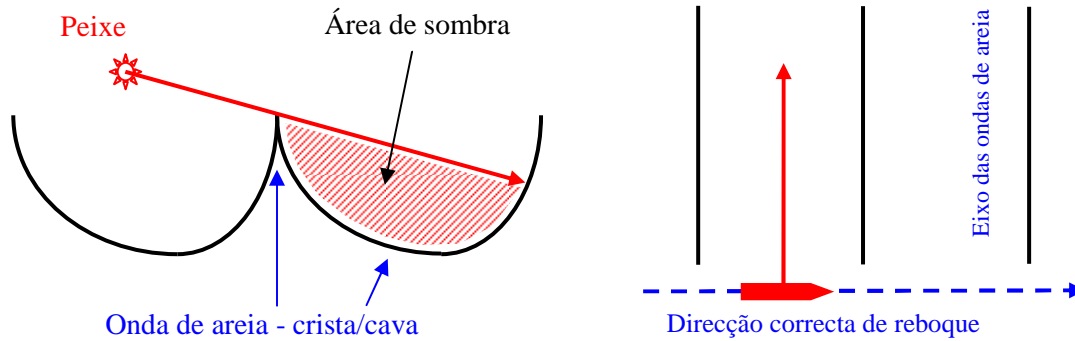



Figura 4.2 SVL – Área de sombra potencial em ondas de areia, e direção correta de reboque.

2.3.4.14 Alcance efetivo do sonar. A presença de marcas no registo de sonar não indica necessariamente que estão a ser recebidos ecos. Perdas de transmissão, interferência de outras fontes de ruído, condições da água e limitações do registo, todas elas restringem o alcance útil do SVL. Por exemplo para um sonar de 100 kHz, o máximo que pode ser esperado é um alcance máximo de 270 m mesmo para destroços de grande dimensão, sendo improvável a detecção de pequenos contactos (1-2 m) para além dos 120-150 m. A gama de alcances com detecção varia com os diferentes modelos de SVL e frequências - quanto maior a frequência menor o alcance para detecção, apesar da imagem resultante ser melhor. Os melhores resultados serão geralmente alcançados restringindo o alcance a 150 m para tirar partido da maior taxa de disparo e maior definição. Um teste curto usando um contacto propício no fundo marinho, sonorizado a diferentes alcances, fornecerá informação sobre as potencialidades do sonar na área do levantamento.

2.3.5. Distorções do Registo de Sonar

2.3.5.1 As sonografias nunca representam mapas isométricos do fundo marinho. A menos que as distorções tenham sido eliminadas digitalmente antes da compilação do mosaico, têm que ser tidos em conta vários fatores de distorção quando se interpreta mosaicos de sonografias sob a forma de um mapa. As principais causas de distorção são:

- Compressão da sonografia com o aumento da velocidade – ocorrerá uma distorção paralelamente à rota do navio devido a velocidades variáveis e a uma taxa de disparo/registo constante, resultando numa compressão do registo nesta direção;

- A altitude do peixe acima do fundo marinho introduzirá distorções laterais, perpendiculares à direção de avanço;

- Um fundo marinho inclinado perpendicularmente à direção de avanço, introduzirá distorções que são diferentes consoante se trata da parte que inclina para cima ou para baixo.

2.3.5.2 As distorções podem ser calculadas para uma dada velocidade do navio, alcance lateral, taxa de disparo e altura do peixe. Durante a varredura da área estes efeitos geralmente só precisam de ser considerados quando se marcam os contactos; durante as investigações eles precisam de ser considerados em detalhe. A velocidade durante as investigações deve ser ajustada de modo a que ocorra o mínimo de distorção possível, cerca de 3 nós é usualmente o ideal.

2.3.5.3 Efeito do Espelho de Lloyd. Durante as operações de sonar em águas muito calmas, pode ocorrer a reflexão de uma parte da energia do sonar da superfície do mar, tal como mostrado na Figura 4.3. Isto é conhecido como o Efeito do Espelho de Lloyd e resulta numa série de máximos e mínimos da imagem de sonar. Este efeito normalmente ocorre

quando o peixe esta próximo da superfície e pode ser minimizado rebocando o peixe a maior profundidade.

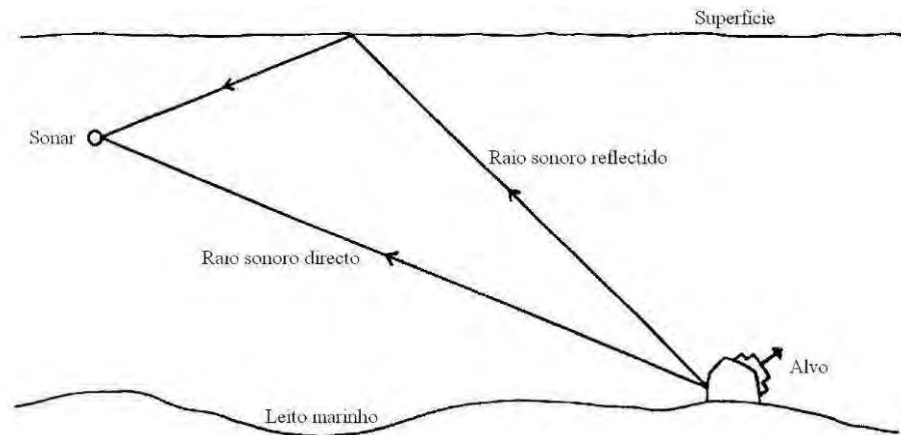



Figura 4.3 Efeito do Espelho de Lloyd.

2.3.5.4 Recepção cruzada (*cross talk*). A recepção cruzada entre dois canais de SVL pode resultar numa imagem mais esbatida das estruturas do fundo marinho refletida no canal oposto. A recepção cruzada pode resultar no disfarce da imagem verdadeira presente no bordo que é afetado. Isto pode impedir a detecção de objetos, ou a falsa detecção de estruturas que são, com efeito, cópias das estruturas existentes no bordo oposto. Este problema ocorre especialmente em áreas onde existem numerosas estruturas e neste caso pode ser difícil verificar aquelas que são reais e aquelas que não o são.

2.3.5.5 Efeito de inclinação (*tilt*). Se o peixe de sonar não for rebocado a direito, se estiver inclinado para um dos bordos, o canal que estiver direcionado mais para baixo, para o fundo marinho, produzirá um sinal de retorno mais forte e consequentemente uma imagem mais escura (admitindo que na paleta de cores selecionada, a cor mais escura corresponde a uma maior intensidade da energia retroespalhada). Por outro lado, o canal que estiver direcionado mais para cima apresentará uma imagem mais clara. A classificação do fundo marinho é baseada na interpretação do tom da imagem que é o resultado da intensidade relativa do sinal retornado por diferentes tipos de fundos marinhos. O efeito de inclinação do peixe pode portanto resultar em interpretações mais difíceis ou erróneas.

2.3.5.6 Controlo automático de ganhos (AGC). O AGC foi introduzido como uma forma de assegurar que a imagem de SVL estava otimizada para a detecção de objetos. Por outras palavras, em áreas de ecos fortes (por exemplo, rocha), o ganho era automaticamente diminuído para permitir a detecção de objetos contra um fundo claro. No entanto, tal como com o efeito de inclinação, alterar o ganho e consequentemente o tom da imagem, torna difícil a sua classificação, senão impossível. Por esta razão o AGC deve ser desligado se a imagem de sonar vai ser usada para classificação do tipo de fundo.

2.3.5.7 Esteira. Se o SVL for rebocado demasiado próximo da superfície, a imagem pode ser afetada por ecos da esteira de outros navios ou mesmo do próprio navio que reboca o sonar, se este guinou recentemente. Mais uma vez, tal interferência pode ter um impacto sério sobre a classificação do fundo e é importante que seja mantido um registo, para que o registo dos incidentes possa apoiar a interpretação subsequente da imagem.

2.3.5.8 Termoclina. Como com qualquer sonar, as transmissões de SVL estão sujeitas ao efeito da sua passagem por uma água com propriedades que mudam e que podem resultar na

distorção da imagem. Apesar do *software* poder ser usado para moldar a imagem novamente na forma correta, é importante o hidrógrafo ter consciência deste efeito, e poder decidir sobre o grau de sonorização que deve ser usado para suplantar este problema. Por exemplo, em áreas importantes para a navegação, uma maior redundância pode ser requerida, com realização de linhas adjacentes em direções opostas, linhas perpendiculares adicionais, e seleção de um alcance mais curto. Em áreas menos importantes, o alcance selecionado pode ser maior e o grau de sobreposição e redundância pode ser menor, e portanto, a distorção pode-se tornar um problema maior.

2.3.5.9 "*Sound Underwater Images – A Guide to the Generation and Interpretation of Side Scan Sonar Data*" (Fish, J. P. e Carr, H. A., 1990), é um exemplo de um texto de referência que pode ser usado para apoio à interpretação de sonar.

2.3.6. Detecção de Objetos

2.3.6.1 São feitas as seguintes suposições:

- o tamanho do objeto é definido como o comprimento apresentado perpendicularmente ao feixe de sonar;
- o número mínimo de ecos para fazer uma marca distinguível no registo é assumido como sendo cinco:
- a velocidade do som é assumida como sendo 1500 m/s;
- o ângulo horizontal do sonar é de 1.5º.

2.3.6.2 Termos e unidades:

Intervalo entre impulsos	t	segundos
Intervalo de repetição do impulso	F	impulsos por segundo
Velocidade do navio (sobre o fundo)	V	metros por segundo
Comprimento do objeto	L	metros
Velocidade do som na água do mar	C	metros por segundo
Alcance do registo	Rm	metros
Largura do feixe	Bw	metros
Distância oblíqua ao contacto	Rs	metros
Comprimento do agregado (*array*)	l	metros
Distância viajada entre impulsos	d	metros

2.3.6.3 Equações básicas:

$$F = C/(2Rm) \text{ impulsos por segundo; ou, } t=1/F \text{ segundos}$$

Como φ é um ângulo muito pequeno, a largura do feixe a um determinado alcance $Bw = Rs \times \varphi$ (φ em radianos).

2.3.6.4 Pode ser observado pela Figura 4.4 que o objeto A é o maior objeto que NÃO PODE receber cinco impulsos; pode receber um máximo de quatro (isto é, os impulsos 2, 3 e 4, e, ou o impulso 1 ou o 5). Porém, teoricamente, um pequeno aumento no comprimento do objeto A significaria que receberia cinco impulsos. Em geral, para N impulsos o seu comprimento é dado por:

$$L = V \times t \times (N-1) - Bw \qquad \textbf{(4.1)}$$

2.3.6.5 O objeto B é o objeto mais pequeno que deve (teoricamente) receber cinco impulsos; é apanhado pelo primeiro e falhado à justa pelo sexto impulso. O seu comprimento é dado por:

$$L = V \times t \times N - Bw \qquad \textbf{(4.2)}$$

Essencialmente, esta é a mesma equação que foi usada para determinar a velocidade durante a sondagem. Ambas as fórmulas assumem que o feixe de sonar é divergente.

2.3.6.6 Em geral, a equação (4.1) é usada quando se determina:

- o comprimento do objeto que receberá os cinco impulsos para uma determinada velocidade relativamente ao fundo;
- a velocidade sobre o fundo que não pode ser excedida para que um objeto com um dado comprimento seja atingido por cinco impulsos.

2.3.6.7 Poderão haver ocasiões em que o hidrógrafo sente que é mais prudente usar a equação (4.2), que garante uma maior probabilidade de detecção.

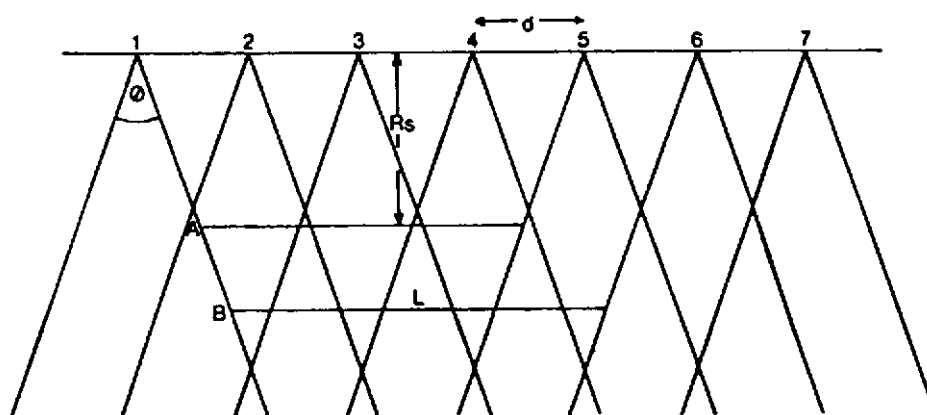



Figura 4.4 Diagrama mostrando a detecção de objetos

2.3.7. Cálculo da Velocidade de Avanço

2.3.7.1 Uma escala típica de levantamento é de 1:25 000, com um espaçamento habitual entre fiadas de 125 m e um alcance do SVL de 150 m. Em geral, é vantajoso se a batimetria e a varredura de sonar puderem ser realizados ao mesmo tempo. Com fiadas espaçadas 125 m, é sonorizada uma faixa de 25 m para cada lado das linhas adjacentes, contudo, esta margem pode ser reduzida com uma navegação sobre a fiada menos cuidadosa.

2.3.7.2 Para reconhecer um objeto no registo de SVL é necessário assegurar que este recebe cinco impulsos. Para que seja reconhecido como uma estrutura significativa, é necessário confirmação através da detecção por outra fiada. Isto não significa que os contactos que não sejam detectados em ambas as linhas adjacentes possam ser rejeitados como sendo falsos, um destroço pequeno no limite do alcance do SVL pode facilmente ser desprezado.

2.3.7.3 Num varrimento de área é então necessário determinar a velocidade relativamente ao fundo que não deve ser excedida para que um objeto com um metro de comprimento receba cinco impulsos a partir de cada fiada adjacente. Isto dá a velocidade relativa ao fundo que não deve ser excedida.

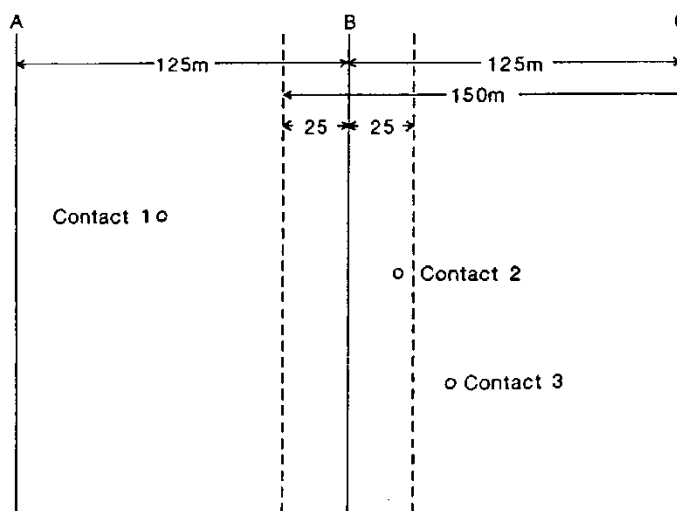



Figura 4.5 Calculando a velocidade de avanço

2.3.7.4 Na figura 4.5 A, B e C são três linhas espaçadas 125 m. Um navio opera o seu SVL no alcance de 150 m. Que critério deve ser satisfeito?

2.3.7.5 Campo próximo. O limite do campo próximo está geralmente dentro de 20 m. Portanto, com 25 m de sobreposição a partir de linhas adjacentes, um objeto que não tenha recebido cinco impulsos a um dado alcance no campo próximo da fiada B, receberá cinco impulsos de ambas as fiadas A e C. Neste caso, a velocidade de detecção de 3.6 nós para o campo próximo não é um fator limitativo.

2.3.7.6 Campo distante. O Contacto 1 deve ser detectado a partir das fiadas A e B, o Contacto 2 receberá cinco impulsos das fiadas A e C, o Contacto 3, das fiadas B e C. É necessário calcular a velocidade relativa ao fundo que não deve ser excedida se um contacto com comprimento L m receber cinco impulsos a 25 m.

Se L = 3.0 m então:

A partir da equação (4.1) o comprimento máximo do objeto que não receberá cinco impulsos é:

$$L = V \times t \times (N-1) - Bw$$

onde $Bw=25.0 \times \varphi$

$N=5$

$t=0.2$ s

$L=2.999$ m (ver nota)

Nota: porque teoricamente um objeto um pouco maior, com 3.0 m, deverá receber cinco impulsos.

rearranjando: $$V = \frac{L + Bw}{t(N - 1)}$$

$$= \frac{2.999 + 0.6545}{4(0.2)}$$

= 4.57 m/s ou 8.9 nós

2.3.7.7 De fato, por razões práticas, o peixe não deve ser rebocado a velocidades em relação ao fundo superiores a 8 nós, sob pena de pequenos objetos não serem detectados, ou a 10 nós relativamente à água, uma vez que acima desta velocidade é provável que o peixe rabeie. É de referir também, que se for necessário garantir cinco impulsos num objeto então deve ser usada a equação (4.2), utilizando V = 3.65 m/s ou 7.1 nós.

2.3.7.8 Se o requisito é detectar objetos com 1.0 m de comprimento a partir de duas fiadas, então:

$$V = \frac{0.999 + 0.6545}{4(0.2)}$$

= 2.067 m/s ou 4 nós

2.3.7.9 No entanto, se apenas são requeridos cinco impulsos num objeto de um metro, a partir de uma fiada, então:

$$V = \frac{0.999 + (72.5 * Bw)}{4(0.2)}$$

= 3.623 m/s ou 7 nós

2.3.7.10 O perigo de utilizar a última equação é que a probabilidade de detecção de um objeto pequeno numa única passagem é baixa.

2.3.7.11 SVL rápido. À medida que a tecnologia evolui alguns sonares laterais vão sendo capazes de operar a maiores velocidades do que era possível anteriormente. Um exemplo é a série *Klein5000*, que emprega simultaneamente guiamento do feixe e técnicas de focagem, gerando diversos feixes por cada bordo, adjacentes e paralelos. Este conceito “multifeixe” permite maiores velocidades de reboque ao mesmo tempo que assegura maior resolução da imagem. Outros desenvolvimentos de SVL incluem o uso de técnicas de interferometria, multi-impulso e de abertura sintética. Contudo, como com todos os sensores, é essencial que a sua performance seja validada com alvos conhecidos, que representam os objetos cuja detecção é requerida. A validação deve ser feita com uma verificação inicial e com verificações adicionais, em intervalos regulares, na área de levantamento.

2.3.8. Registo de erros

2.3.8.1 Uma questão que necessita de ser abordada é o quão longe da fiada o navio se pode afastar até que ocorra uma falha na cobertura. Assumindo que apenas uma detecção (cinco impulsos) é requerida para um objeto com 1.0 m, um levantamento padrão à escala 1:25 000 com fiadas espaçadas 125 m no alcance de 150 m, resulta numa sobreposição de 25 m. A soma de quaisquer erros deve estar contida neste número. Por exemplo:

Posição do peixe	e1	10 m

Navegação do navio	e2	5 m
Efeito da inclinação do fundo	e3	1 m
Variações da velocidade do som	e4	1.5 m
Portanto,	Σe^2	128.5 m
Erro RMS total	E =	11.3 m

2.3.8.2 A sobreposição é de 25 m, no entanto, apenas 24 m são utilizáveis (ao contacto tem que corresponder uma marca). Portanto, o erro máximo admissível relativamente à fiada é $\sqrt{\left(24^2 - \sum e^2\right)} = 21m$.

2.3.8.3 É assumido que um objeto é detectável a 149 m, onde irá marcar o registo como um ponto preto de 0.8 mm por 0.8 mm com uma sombra de 1 mm (isto se a sombra não for obliterada pela linha do alcance de 150 m). É mais prudente permitir uma saída de fiada de apenas 15 m, e o objeto será marcado com 0.6 mm numa escala de 1:25 000.

2.3.9. Utilização Prática do Sonar de Varredura Lateral

2.3.9.1 O varrimento de área é o método de busca hidrográfica padrão. As categorias de varredura de sonar requeridas para um determinado levantamento serão especificadas nas instruções do levantamento. Seguidamente é dado um exemplo de categorias de busca com SVL:

Categoria A e B. Busca numa direção e/ou na direção recíproca utilizando SVL. Devem ser feitas fiadas adjacentes em sentidos opostos onde for praticável. Devem ser realizadas buscas para todos os destroços assinalados. A Tabela 4.4 mostra exemplos de espaçamento entre fiadas, alcance, sobreposição necessária e velocidade máxima relativa ao fundo.

As varreduras de categoria A são destinadas a serem varreduras padrão para águas costeiras e interiores não sujeitas a levantamentos de rotina. Estas varreduras são desenhadas para se conseguir uma sonorização teórica do fundo do mar de 240%, isto é, (2x o alcance efetivo do sonar/espaçamento entre linhas) x 100% = % sonorização.

As varreduras de categoria B alcançam uma sonorização teórica do fundo do mar de 133% e podem ser usadas para levantamentos de rotina e em profundidades maiores que 100 m onde a detecção de todos os objetos é menos crítica.

Categorias C. Devem ser conduzidas buscas apenas para os destroços listados.

Categoria D. Buscas especiais conforme ordenado. Isto inclui instruções especiais para o uso de um SVL em particular, de sonares montados no casco, etc.

Tabela 4.4 – Buscas de sonar de varredura lateral – Categorias A e B – Exemplo de critérios.

Categoria	Tipo de levantamento	Espaçamento entre fiadas de sonar	Alcance do sonar	Velocidade máxima relativa ao fundo	Sobreposição entre fiadas adjacentes
A1	Especial	125 m	150 m	6 nós	25 m

A2	Levantamentos costeiros e em águas interiores>1:25 000 em profundidades < 15 m	62.5 m	75 m	8 nós (ver nota 2)	12.5 m
	Levantamentos costeiros e em águas interiores>1:25 000 em profundidades < 50 m	125 m	150 m		25 m
	Levantamentos na plataforma continental em profundidades >50 m e/ou escala <1:25 000	250 m	300 m		50 m
B1	Levantamentos de rotina	250 m	150 m		50 m
B2	Levantamentos na plataforma continental em escala <1:25 000 em profundidades >100 m	500 m	300 m		100 m

Notas:

1. A sobreposição entre linhas adjacentes é para permitir afastamentos em relação à fiada e incertezas de posicionamento. Se o hidrógrafo considerar que as incertezas de posicionamento e/ou que os desvios relativamente à fiada excedem este limite, então deve ajustar o espaçamento entre fiadas ou o alcance do sonar, com ajustes subsequentes da velocidade se necessário.

2. Ver comentários anteriores relativamente à utilização do SVL "rápido" que pode permitir aumentar a velocidade.

2.3.9.2 É de sublinhar que estas categorias refletem padrões mínimos; em caso de dúvida acerca da performance do sonar deve ser diminuído o espaçamento entre fiadas ou reduzida a velocidade. Em todos os casos é necessário tomar como referência os padrões relevantes definidos na IHO S-44 ou na S-57 ZOC para assegurar que os requisitos de busca são cumpridos.

2.3.9.3 A definição de uma série de fiadas retilíneas e paralelas permanece o método mais eficiente de cobrir uma área de levantamento. A direção da fiada será próxima da corrente de maré para minimizar o desvio do peixe. O espaçamento entre fiadas de sonar é determinado pelo alcance selecionado e pela sobreposição requerida. É recomendado que a sobreposição entre fiadas adjacentes seja de 125%.

2.3.9.4 Para levantamentos militares na plataforma continental em águas com profundidade inferior a 200 m, o requisito é geralmente a detecção de todos os contactos com uma extensão de um metro. Com o equipamento existente isto não é fácil de alcançar e deve haver um compromisso entre os requisitos do sonar e a batimetria. Uma varredura de sonar que detecte contactos de um metro em profundidades inferiores a 140 m atinge este compromisso. Para a escala normal de 1:25 000 isto significa um espaçamento entre linhas de 125 m, um alcance de 150 m e uma velocidade relativa ao fundo inferior a 7 nós. O equipamento existente não pode ser efetivamente lançado mais fundo que 150 m e, em águas entre 150 e 200 m de profundidade, a busca será restrita à localização de grandes destroços e obstruções.

2.3.9.5 Veículos subaquáticos não pilotados (UUV). O emprego de UUV equipados com SVL e SMF está a tornar-se cada vez mais comum. Estas plataformas permitem que os sensores sejam operados a grande profundidade e à altura apropriada acima do fundo marinho. É portanto provável que a capacidade de detecção de pequenos objetos a grande profundidade seja maior que aquela que é atualmente conseguida com o emprego de sensores rebocados ou montados em navios de superfície.

2.3.9.6 As varreduras de sonar devem ser sempre levadas a cabo com as fiadas orientadas, tanto quanto possível, paralelamente a corrente de maré principal da área do levantamento. Os erros transversais de posicionamento do peixe são invariavelmente maiores que aqueles ao longo da fiada e deverão ser feitos todos os esforços para os minimizar. A uma velocidade de 6 nós com 400 m de cabo largado e uma corrente de maré de 2 nós, uma diferença de 10º entre a corrente de maré e a direção da fiada pode provocar um desvio no peixe de 17 m relativamente à fiada.

2.3.9.7 Para assegurar que a categoria de levantamento solicitada é válida até ao limite da área, é necessário realizar uma fiada de sonar extra, exterior a cada limite da área de levantamento. Da mesma forma, deverá haver o cuidado de garantir que o peixe de sonar cobriu o bordo da área do levantamento antes de se dar por terminada a fiada.

2.3.9.8 Deve ser lembrado que a velocidade e a probabilidade de detecção de objetos aqui calculadas são teóricas e não têm em conta condições adversas para o sonar e as falhas de equipamento.

2.3.9.9 Marcação de contactos. Uma das razões principais para a utilização do SVL é a detecção entre fiadas de contactos do fundo marinho. Ao se decidir quais os contactos a marcar deve-se ter sempre em consideração a utilização final da informação; por exemplo, os submarinos não assentarão no fundo em áreas de fundo rugoso, e estas áreas serão normalmente evitadas nas operações de guerra de minas. Em áreas de fundo suave o objetivo deverá ser sempre a detecção e a marcação de todos os contactos; em áreas mais rugosas este padrão poderá ser diminuído. Todos os contactos deverão ser marcados e a cada um será atribuído um número de contacto que será incluído num modelo de classificação do fundo.

2.3.9.10 Foram desenvolvidas várias técnicas para a marcação de contactos a partir de registos de sonar lateral e têm todas como objetivo a redução de erros no posicionamento dos contactos devidos a erros no posicionamento do peixe e na sua orientação. São usadas diferentes técnicas para marcação de contactos derivados de busca numa área, investigações e verificação de um contacto com um sondador.

- Os contactos derivados de buscas numa área são geralmente marcados a partir de duas direções afastadas 180º. Deve ser usado o método de cálculo do *layback* ("*layback and offset*") com introdução de desvios laterais se necessário, adotando-se como posição mais provável a média das duas posições obtidas.

- As investigações devem produzir um mínimo de dois pares de passagens perpendiculares entre si para cada contacto, orientadas de tal forma que o contacto se situe no quadrado central definido pelo cruzamento das fiadas.

- Quando se verifica um contacto com um sondador, deve-se usar a melhor posição determinada pelo sondador em desfavor da calculada a partir do registo de SVL. Onde possível a fiada do sondador deve passar ao longo do eixo maior do contacto.

2.3.9.11 Medições com Sonar. Na maioria dos casos pode-se usar uma boa imagem de SVL de um destroço ou duma obstrução para estimar a sua altura acima do fundo marinho, através da

sua sombra acústica. Apesar de não ser suficientemente exata para efeitos de cartografia, esta altura é muito útil para a segurança do navio e do peixe quando se planeiam investigações. Podem ser obtidas estimativas da boca e do comprimento dum destroço a partir do registo do sonar. Devem ser sempre considerados os seguintes pontos:

- Deve-se ter sempre em consideração a presença das partes mais altas de um destroço (mastros, por exemplo), que podem não projetar uma sombra detectável, quando se estima a altura dum objeto a partir da sombra acústica.

- As sombras devem ser medidas a partir dos dois lados do destroço e deve-se fazer a média das alturas calculadas – isto ajuda a corrigir erros introduzidos pela inclinação do fundo (deve ser considerado que as alturas acima do fundo obtidas com este método próximo do nadir podem ser sobrestimadas até 20%).

- As medições de comprimento e largura devem ser sempre feitas perpendicularmente à fiada e devem ser corrigidas das distorções de distância oblíqua (*slant range*).

2.3.9.12 Condução de investigações. As investigações são conduzidas para melhorar a classificação de um contacto já localizado durante a busca numa determinada área. É recomendada a seguinte técnica:

- Verificação do contacto com SVL, passando a 50-100 m do contacto; isto normalmente será suficiente para eliminar contactos falsos.

- Verificar e/ou melhorar a sua posição.

- Conduzir a investigação.

2.3.9.13 O alcance de 150 m é normalmente o melhor (a utilização do alcance de 75 m pode resultar numa sombra de um contacto grande que se projeta para além do registo). A velocidade deve ser mantida à volta de 3 nós para redução de distorções no registo com o peixe a cerca de 15 m do fundo. Desde que se obtenham boas imagens de sonar, devem ser suficientes quatro passagens (dois pares perpendiculares). No caso de destroços, um par de fiadas deve ser paralelo ao eixo maior do destroço, e o outro par perpendicular.

2.3.9.14 O procedimento acima descrito produzirá geralmente dados suficientes para que se determine se é necessária ou não a verificação com um sondador, e para que se meça o comprimento, boca e altura. O SVL deve ser sempre recuperado antes de se terminar a sondagem. Se for necessário verificar vários contactos na mesma área, pode-se poupar tempo examinando o grupo inteiro com o sonar antes de se recolher o sonar para determinação da sonda mínima com um sondador.

2.3.9.15 Buscas para refutação de sondas duvidosas. Os destroços, obstruções e outras estruturas perigosas cartografadas, que não tenham sido observadas e localizadas durante um levantamento devem ser removidas se possível. Não serão retiradas da carta sem um comunicado oficial do hidrógrafo responsável pelo levantamento com a respectiva justificação. O procedimento para remoção de sondas duvidosas é o seguinte:

- As estruturas cujas posições tenham sido previamente estabelecidas mas que não sejam encontradas durante um levantamento necessitam duma investigação muito detalhada para que possam ser removidas. Estas buscas incluem uma varredura de sonar em duas direções perpendiculares e uma busca apertada com sondador num raio entre 0.5 e 2.5 milhas náuticas a partir da posição cartografada. Pode ser considerada a necessidade de uma rocega com cabo.

- Quando se procura uma estrutura cuja posição só é conhecida aproximadamente (geralmente um destroço), a busca de sonar deve ser realizada em duas direções perpendiculares e deve ser considerada a extensão do levantamento até 2.5 milhas, este valor é baseado na probabilidade estatística da busca ter sucesso. No entanto, se o hidrógrafo está confiante que a busca inicial numa direção foi exaustiva, e que o equipamento de sonar operou satisfatoriamente, ele pode considerar que uma segunda busca noutra direção não é necessária, tendo no entanto em consideração a dimensão e a história do destroço em questão e a posição em que alegadamente se encontra. Se for também lançado um magnetómetro durante a varredura inicial de sonar e não for detectada nenhuma anomalia magnética significativa dentro das 2.5 milhas da posição cartografada, isto pode ser aceite como uma evidência adicional de que não existe na área um destroço de natureza predominantemente ferrosa.

- As buscas de destroços que não estejam dentro duma área normal de levantamento devem ser estendidas até um raio de pelo menos 2.5 milhas. Se será ou não necessário executar uma segunda varredura perpendicular à primeira, dependerá do mesmo tipo de considerações expostas anteriormente.

2.3.9.16 Seja qual for o resultado de tais buscas, quer sejam parte de um levantamento mais abrangente quer sejam verificações individuais, o hidrógrafo deve reportar a totalidade dos achados, acompanhados dos registos necessários, e duma recomendação para futuras ações de cartografia.

2.3.10. Erro de Posicionamento dos Contactos de Sonar

2.3.10.1 A principal preocupação de um hidrógrafo durante um levantamento é tentar sonorizar a totalidade do fundo marinho de forma a detectar todas as estruturas significativas. Quaisquer estruturas com dimensões significativas serão então rigorosamente posicionadas por sondador.

2.3.10.2 No entanto, em alguns levantamentos especiais é essencial que seja dada para cada contacto uma posição tão precisa quanto possível, particularmente para pequenos contactos no fundo. Estes contactos não serão necessariamente registados por um sondador. É então necessário considerar todos os erros que se acumulam na marcação de um contacto a partir do registo de SVL.

2.3.10.3 As incertezas na posição de um contacto serão derivadas do seguinte (por exemplo, $\pm 1\sigma$):

Incerteza no posicionamento do navio –·	5.0 m
Incerteza no posicionamento do peixe (ver nota) –	10 m
Variações devidas à velocidade do som assumida (1500 m/s) -	1.5 m
Resolução do registo em papel (0.75% do alcance) -	0.75 m
Erros devido à inclinação do fundo -	1.0 m
Portanto, o erro total RMS, a 1σ =	11.4 m

Nota: Esta pode ser uma quantidade desconhecida, dependendo da utilização de um sistema preciso de posicionamento do peixe. A evidência sugere que o peixe pode oscilar 20 m sobre o percurso realizado pelo navio. Este valor também está dependente da profundidade e do comprimento do cabo de reboque. É portanto assumida uma estimativa de ± 10 m.

2.3.10.4Os valores fornecidos acima são apenas exemplos e a listagem não é exaustiva. O hidrógrafo deve considerar uma tabela de erros para cada parte do levantamento e deve comentá-los no relatório do trabalho, tal como é o caso com os erros do sondador.

2.3.10.5A incerteza na posição do peixe é a maior fonte potencial de erro. Os hidrógrafos deverão enveredar todos os esforços para minimizar os desvios planeando fiadas paralelas à corrente predominante a não ser que seja empregue um método de posicionamento rigoroso do peixe. Se tal não for possível, deverão ser utilizadas todas as oportunidades para quantificar o desvio do peixe relativamente à fiada, referenciando estruturas do fundo cujas posições sejam conhecidas. Se houver um risco de não se conseguir uma sonorização total, a solução mais simples é apertar o espaçamento entre fiadas, aceitando que tal resultará num aumento da taxa de esforço.

2.3.11. Marcação e Medição a Partir do Registo de Sonar

2.3.11.1*Layback*. O *layback* é a distância para ré do navio, medida a partir da posição dada pelo sistema de navegação, até à posição assumida para o peixe (ver Figura 4.6). Num rumo normal pode ser calculada como:

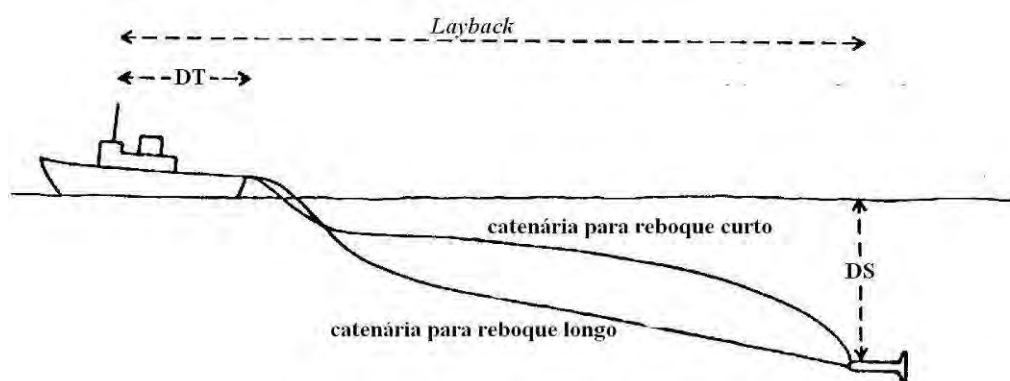



Figura 4.6 *Layback* do sonar de varredura lateral.

Nota: Quando o comprimento de cabo largado excede 100 m, a curvatura do cabo tem um maior efeito no reboque do que as propriedades hidrodinâmicas do peixe.

$$Layback = DT + \sqrt{WO^2 - DS^2}$$

onde: DT = distância horizontal do ponto de referência ao ponto de reboque,

WO = quantidade de cabo largado, e

DS = profundidade do peixe, abaixo da superfície.

2.3.11.2Esta fórmula assume um percurso retilíneo entre o ponto de reboque e o peixe. Obviamente, isto é uma simplificação; o cabo na realidade descreve uma catenária irregular tanto no plano vertical como no horizontal.

2.3.11.3Correção da distância oblíqua (*slant range*). A distância oblíqua pode ser corrigida para a distância horizontal simplesmente pela utilização do teorema de Pitágoras. Se o fundo marinho for inclinado então terá que ser aplicado um fator de correção.

2.3.11.4Geometria da altura calculada a partir do SVL. Uma das capacidades mais importantes do SVL é a possibilidade de medição da altura de uma estrutura a partir do comprimento da sua sombra no registo de sonar. Porém, esta capacidade depende do reboque do peixe à

altura correta acima do fundo e da seleção do alcance ótimo. A geometria da altura a partir do SVL é mostrada na Figura 4.7.

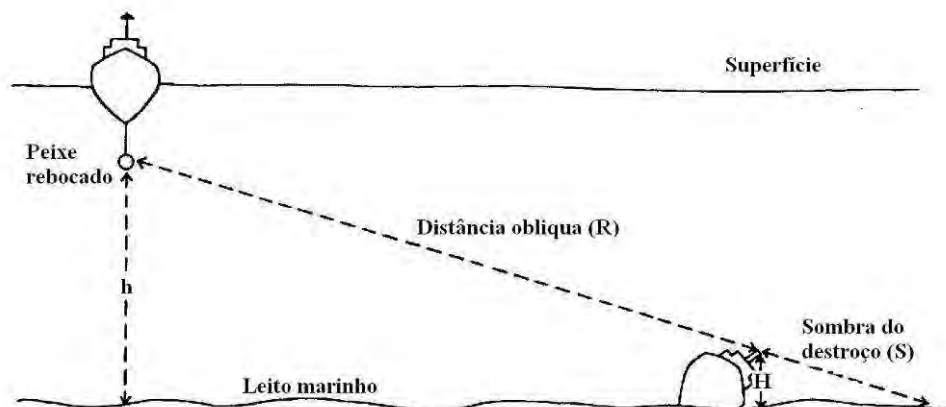



Figura 4.7 Cálculo da altura a partir do SVL.

Portanto, por triângulos semelhantes – $H = \frac{S.h}{R+S}$

Onde: H = altura do objeto

S = comprimento da sombra do objeto

R = distância oblíqua ao objeto

h = altura do peixe acima do fundo

2.3.12. Sistema Sondador Multifeixe (SMF)

2.3.12.1 O SMF tem vindo a provar rapidamente as suas superiores capacidades em batimetria, permitindo-lhe fornecer (em teoria), uma sonorização do fundo marinho de 100 % ao mesmo tempo que cumpre as especificações da OHI para a batimetria. O fato do transdutor do SMF estar montado rigidamente no casco do navio hidrográfico significa que a sua posição pode ser calculada com o mesmo rigor do sistema de posicionamento utilizado. Com a capacidade de formar feixes discretos, torna o SMF na ferramenta preferencial para levantamentos batimétricos.

2.3.12.2 Dadas as capacidades de posicionamento do SMF, as passagens subsequentes sobre o mesmo objeto estacionário deverão fornecer exatamente a mesma posição georreferenciada. A existência de apenas uma pequena diferença na posição do contacto é uma grande vantagem quando é necessário retornar à mesma posição para identificação de um objeto com ROV ou mergulhadores. No entanto, como infelizmente os transdutores estão fixos ao casco do navio, o ângulo rasante (*grazing angle*) é maior e não é possível usar o mesmo princípio de projeção de sombra do SVL para detecção em tempo real. A detecção, portanto, deve-se focar nas variações de batimetria resultantes da presença de um objeto no fundo do mar.

2.3.12.3 Métodos de levantamento. Os requisitos para um levantamento com SMF onde o SVL seja rebocado simultaneamente são semelhantes aos requisitos para um levantamento tradicional com SFS. A forma mais eficiente de cobrir uma área continua a ser a realização de um conjunto de fiadas retilíneas e paralelas. A direção das fiadas será provavelmente determinada pelo requisito do SVL da direção ser próxima da direção da corrente de maré. O SMF é diferente na medida em que o sistema recolhe dados numa

matriz que é densa tanto ao longo da fiada como transversalmente, pelo que não existe nenhum requisito de cruzar perpendicularmente os contornos batimétricos para determinação rigorosa da sua posição.

2.3.12.4 O espaçamento para as linhas de sonar é determinado como habitualmente pelo alcance selecionado e pela sobreposição requerida. A diferença aqui é que quase de certeza que também será especificada uma cobertura de 100% para a batimetria. A pequenas profundidades, inferiores a 30 m, o espaçamento entre linhas que é requerido para cobertura batimétrica a 100% com o SMF pode ser inferior ao que é requerido para o SVL. Será o hidrógrafo a determinar se é mais eficiente completar normalmente a cobertura de SVL, e só depois fazer as fiadas intermédias unicamente com o SMF, ou completar a cobertura com SMF logo na primeira passagem.

2.3.12.5 Quando for o SMF a determinar o espaçamento entre fiadas, este dependerá das profundidades média e mínima da área. A largura da faixa coberta pelo multifeixe depende da profundidade. Quando a profundidade variar significativamente ao longo da área do levantamento, pode ser mais eficiente dividir a área em subsecções e fazer cada subsecção com um espaçamento entre fiadas apropriado para a sua profundidade. As recomendações atuais apontam para uma sobreposição média entre varreduras adjacentes de 25%, e uma sobreposição mínima de 10%.

2.3.12.6 Onde o SMF, por si só, determinar a direção das fiadas num levantamento, e onde o perfil de velocidade do som for constante ao longo da área, então a direção de fiada mais eficiente é a paralela aos contornos batimétricos. Desta forma, a largura da faixa coberta e a sobreposição entre faixas adjacentes será mais regular e o espaçamento entre fiadas poderá ser maior.

2.3.13. Considerações quando se usa o Sondador Multifeixe

2.3.13.1 Apesar das previsões iniciais e das afirmações dos fabricantes, não pode ser tomada como certa a detecção de estruturas pequenas e potencialmente perigosas pelo SMF. Por exemplo, mesmo que o mastro de um destroço receba um impulso do SMF, os algoritmos de redução de ruído incorporados eliminarão muito provavelmente a estrutura; enquanto que se estes filtros forem reduzidos ou desligados, o nível de ruído será tal que os dados não poderão ser utilizados.

2.3.13.2 Outro fator fundamental no SMF é a geometria do feixe. As várias marcas e modelos têm diferentes desenhos, e em alguns casos, deixam intervalos de cobertura relativamente largos que não são sonorizados entre feixes. Por exemplo, os SMF interferométricos podem sofrer de fraca capacidade de detecção na zona de nadir devido simplesmente aos princípios físicos que regem este tipo de sistema.

2.3.13.3 Os hidrógrafos devem verificar a performance do SMF antes de ser empregue na detecção de objetos; incluindo a determinação da largura de faixa apropriada, taxa de transmissão, velocidade sobre o fundo, etc. Muitas instituições responsáveis pela cartografia náutica ainda requerem a utilização do SVL para detecção de estruturas, com o SMF a fornecer a batimetria e a verificação das estruturas detectadas com SVL. A geometria do feixe do SMF e o potencial para detecção de estruturas é discutido em detalhe em "*How Effectively Have You Covered Your Bottom?*" - Miller JE, Hughes Clarke JE, Paterson J – *The Hydrographic Journal Nº 83, January 1997.*

2.3.14. Magnetómetro

2.3.14.1 Este instrumento pode-se revelar muito útil na diferenciação entre destroços e rochas se os destroços forem ferrosos. Uma breve descrição da teoria de operação de magnetómetros pode ser encontrada no relatório FIG/OIH de 1981 "*Report on the Detection of Depth Anomalies*".

2.3.14.2 Quando possível, deve ser usado um magnetómetro durante uma varredura básica de sonar porque fornecerá provas adicionais da existência de material ferroso no fundo marinho, ou debaixo dele, isto apesar de não o localizar com precisão.

2.3.14.3 A intensidade do campo magnético de uma estrutura ferrosa caí proporcionalmente com o cubo da distância à estrutura. Uma fórmula geral para cálculo da variação esperada do campo, em nanotesla (nT), à medida que o magnetómetro é deslocado da estrutura, é:

$$M = \frac{50000.W}{D^3}$$

onde: M = variação de intensidade do campo magnético em nanoTeslas,

W = peso do metal ferroso em toneladas,

D = distância entre a estrutura e o sensor em metros.

2.3.14.4 Geralmente, 5 nT é a variação de campo magnético mais pequena que pode ser garantidamente detectada. Então, para uma mudança de intensidade de 5 nT, a equação acima pode ser escrita como:

$$D = \sqrt[3]{10000W}$$

ou, para uma série de objetos:

Objeto	**Distância de detecção**
Ferro de 100 kg	10 m
Objeto parecido com uma mina de 1 t	22 m
Peça de 2 t	27 m
Destroço de 10 t	46 m
Destroço de 100 t	100 m
Destroço de 1000 t	200 m

2.3.14.5 Por exemplo, durante a varredura de uma área com fiadas espaçadas 125 m em profundidades de 50 m, e com o magnetómetro rebocado 3 m abaixo da superfície, pela tabela acima pode ser afirmado que:

- Um destroço ferroso de 100 t será provavelmente detectado pelo menos por um par de fiadas adjacentes e qualquer coisa maior que 100 t deve ser detectada em várias fiadas.
- Um destroço ferroso de 10 t só pode ser detectado diretamente abaixo do magnetómetro.
- Não é provável que se detecte alguma coisa mais pequena que 10 t.
- Um navio de cerca de 1000 t (de material ferroso) deverá rebocar o magnetómetro 200 m a ré ou então as distâncias de detecção que foram tabuladas serão seriamente degradadas.

2.3.14.6 Muitos magnetómetros estão desenhados para serem rebocados próximo do fundo. Isto aumentará a probabilidade de detecção de pequenos objetos. No entanto, deverá haver o cuidado de evitar ensarilhar no cabo de SVL, um perigo que é menor com um magnetómetro rebocado à superfície.

2.3.15. Outros métodos de detecção de objetos/estruturas

2.3.15.1 Outros sensores com potencial para a detecção de objetos/estruturas incluem:

Sondador de feixe simples (SFS). Não é normalmente empregue para detecção de objetos em águas pouco profundas uma vez que o seu feixe relativamente estreito torna impraticável a busca na totalidade duma área. O SFS pode ser usado como verificação do SMF que tem uma reduzida performance de detecção na zona de nadir, e em águas profundas para além do alcance do SMF de águas pouco profundas. Contudo, em todas estas circunstâncias deve ser considerada a utilização do SVL para detecção de objetos/estruturas.

Batimetria com laser aerotransportado (*Airborne LIDAR Bathymetry* – ALB). Sistemas ALB como o LADS Mk.2 e CHARTS são capazes de realizar uma pesquisa total de área e de detectar objetos com dois metros quadrados. Isto significa que podem cumprir com os padrões da OHI em águas transparentes, favoráveis a operações com LIDAR. É esperado o desenvolvimento futuro de sistemas com um feixe mais estreito que permita a detecção de objetos mais pequenos.

Batimetria eletromagnética aerotransportada (*Airborne Electromagnetic Bathymetry* - AEB). Este método, originalmente concebido para levantamentos geofísicos, oferece o potencial de detecção de objetos mas ainda tem que se demonstrar que esta capacidade cumpre com os padrões da OHI.

Sonares de varredura frontal (*Forward Looking Sonar* - FLS). Os FLS foram desenhados originalmente para navegação e para evitar colisões com obstáculos, mas recentes desenvolvimentos oferecem capacidade batimétrica e de detecção de objetos. Até à data, no entanto, estas capacidades ainda não cumprem com os padrões da OHI para detecção de objetos mas podem alcançar padrões mais baixos de batimetria. Não podem por enquanto ser considerados como um sensor de utilização exclusiva em hidrografia.

2.3.16. Obtenção da sonda mínima sobre uma estrutura

2.3.16.1 O hidrógrafo deve estabelecer uma sonda mínima sobre destroços e obstruções. A seguinte linha orientadora pode ajudar na decisão de qual o método a usar para a obtenção de uma sonda mínima. Qualquer que seja o método empregue, a opinião do hidrógrafo relativamente ao rigor da sonda mínima é de importância vital e deve constar do relatório do levantamento. Se não for obtida uma sonda mínima, deve ainda assim resultar numa recomendação relativamente ao rigor provável da profundidade obtida e a futuras ações de cartografia.

2.3.16.2 O rigor vertical e horizontal duma sonda mínima deve refletir os critérios de rigor considerados para o levantamento como um todo e, este por sua vez, os padrões da S-44 e/ou da S-57 da OHI.

2.3.17. Sonda mínima obtida com sondador acústico

2.3.17.1 A sonda mínima pode ser obtida através da saturação da cobertura com SFS. O espaçamento requerido entre fiadas será calculado a partir do conhecimento da largura do feixe do sondador e das profundidades da área, permitindo uma sobreposição de pelo menos 25% entre fiadas. Deverá ser dada atenção ao capítulo 3, parágrafo 4.5 com respeito ao cálculo da área sonorizada pelo sondador de feixe simples.

2.3.17.2 Alternativamente, a sonda mínima pode ser obtida com SMF. Porém, como referido anteriormente, se for empregue o SMF, o hidrógrafo deverá estar seguro de que as capacidades do sistema são tais que será possível determinar a sonda mínima. Particularmente se a sonda mínima se situar sobre um mastro ou uma estrutura semelhante. As considerações aqui incluem a largura e o espaçamento do feixe, a velocidade relativamente ao fundo, a porção ótima da faixa (isto é, parte interior ou média) que será posicionada sobre a estrutura, número e direção das passagens requeridas. Pode ser que, no entanto, o SMF seja melhor empregue para identificar o limite de uma estrutura, de forma a permitir a determinação da sonda mínima com o SFS numa primeira passagem, ou pelo menos, numa verificação menos extensa.

2.3.18. Utilização de mergulhadores

2.3.18.1 Uma alternativa é a utilização de mergulhadores, assumindo que a visibilidade, força da corrente e profundidade onde se encontra a estrutura, permitem a sua utilização. Onde se puder empregar mergulhadores, os navios devem planear de forma a permitirem tempo suficiente para que a tarefa seja completada de forma segura e rigorosa. Se forem usados manómetros de pressão para determinação da profundidade deve ser determinado o rigor desses manómetros. A sonda mínima sobre uma estrutura pode geralmente ser obtida pelos mergulhadores em menos duma hora, ao passo que uma rocega com cabo geralmente demora quatro horas ou mais.

2.3.18.2 Em certas circunstâncias o hidrógrafo poderá considerar a utilização de mergulhadores. Se for provável que a profundidade mínima seja inferior a 30 m. Se um destroço tiver sido rocegado ou investigado por um mergulhador nos últimos cinco anos, a sua posição permanece inalterável e não há alterações significativas das profundidades do sondador sobre o destroço, então não deve ser necessária a utilização de mergulhadores.

2.3.18.3 Onde as profundidades à volta do destroço forem marcadamente diferentes daquelas que foram cartografadas ou quando é sabido que ocorreu uma operação de recuperação/desmantelamento desde o último levantamento, poderá ser necessário utilizar mergulhadores.

2.3.18.4 Se o registo de SVL indicar que o navio se encontra tombado sobre um bordo ou com a sua quilha para cima e forem obtidas diversas profundidades com o sondador, não deverá ser necessário prosseguir com as investigações. Se houver no entanto, qualquer possibilidade de existência de estruturas protuberantes que não tenham sido reveladas no sonar ou no sondador, deverão ser empregues mergulhadores.

2.3.18.5 Áreas cartografadas como “sujas”, especialmente em ancoradouros, necessitam de uma atenção especial uma vez que o movimento do fundo marinho pode expor detritos que não tenham sido previamente considerados perigosos; nestas circunstâncias é particularmente útil o relatório dum mergulhador.

2.3.18.6 Em áreas de forte corrente e de fundo marinho móvel, os destroços podem mover-se e é possível que a sonda mínima que foi marcada sobre eles diminua marcadamente. Os destroços nestas áreas devem ser vistos com desconfiança e, deverão ser efetuados mergulhos caso outras evidências sugiram a sua necessidade.

2.3.19. Outros métodos

2.3.19.1 Os outros métodos de obtenção da sonda mínima sobre uma estrutura incluem a rocega com cabo (ver o próximo parágrafo) e a utilização de veículos autónomos e remotos equipados com os sensores apropriados. Se nada mais houver, estes métodos podem ser utilizados para identificar o ponto menos profundo duma estrutura para medição subsequente. Estes métodos não são aqui descritos em detalhe.

2.3.20. Métodos de rocega com cabo

2.3.20.1 Em muitos casos a única forma possível de estabelecer uma sonda mínima sobre um pináculo de rocha ou destroço é através da utilização de uma rocega com cabo. Existem diversos métodos:

2.3.20.2 Rocega de deriva com um único navio. Este método é lento mas rigoroso. Todavia, é impossível de praticar se o vento e a maré estiverem em direções perpendiculares e difícil se estiverem em sentidos opostos. Os ângulos de cabo devem ser mínimos e não deve haver movimento para vante ou para ré durante a rocega. Os hidrógrafos que utilizarem este método deverão ter cuidado com prisões suaves, com deixarem zonas não cobertas no percurso rocegado e com ângulos de cabo excessivos.

2.3.20.3 A situação ótima para a rocega com um único navio é:

- O destroço já ter sido devidamente examinado com sondador.
- Ser lançada uma bóia de marcação a aproximadamente uma largura da rocega relativamente ao destroço, contra o sentido da maré.
- Ângulo de rocega inferior a 20º.
- Não serem usados motores, o navio deve derivar.
- Ser mantida uma tensão constante no cabo.

2.3.20.4 Rocega de deriva com dois navios. O procedimento é semelhante à rocega com um navio. As considerações são:

- Maior percurso varrido do que com um só navio (máximo 100-120 m).
- Necessidade de conhecer a posição do navio principal.
- Necessidade de boa manobrabilidade do navio.
- Navios a pairar e à deriva.
- Folga e alagem do cabo.
- Maior tendência dos navios para o balanço.
- Os navios irão juntar-se lentamente.

2.30.20.5 Os fatores que afetam o rigor incluem:

- O ângulo da rocega é causado pelo movimento através da água e pela tensão do cabo e deve ser mantido no mínimo.
- A curvatura do cabo é afetada pelo peso do cabo e pela largura da rocega.
- Existe uma maior tendência para o balanço dos navios, e portanto menor rigor do que com uma rocega à deriva com um só navio.

2.30.20.6 Rocega de arrasto.

2.30.20.7 Os fatores que afetam o rigor são:

- A curvatura tende a desaparecer devido ao levantar do cabo no seu movimento através da água.

- A tensão de cabo variável e a velocidade de arrasto resultam em incerteza do ângulo da rocega.

2.3.20.8 A rocega à deriva e de arrasto são discutidas em detalhe no "*Admiral Manual of Hydrographic Surveying*", Volume 2, UK Hydrographic Office, 1969.

2.4. Registos de Sonar de Varredura Lateral

2.4.1.1 Esta secção esboça considerações sobre os registos de SVL. O hidrógrafo deve ser escrupuloso na confirmação de que não existem inconsistências entre os registos.

2.4.1.2 Os registos da ponte variam de navio para navio dependendo do tipo de equipamento de registo de dados utilizado e preferências do hidrógrafo. No entanto, é recomendado que a seguinte informação seja disponibilizada para quem vai interpretar o registo de sonar:

- Hora e data;

- Velocidade relativa ao fundo;

- Rumo base e rumo relativo ao fundo;

- Proa do navio;

- Comprimento de cabo largado;

- Anotações, incluindo o estado do mar.

2.4.1.3 Livro de contactos de sonar. Este é o registo principal de todos os contactos de sonar. Onde aplicável, deverá conter para cada registo efetuado a seguinte informação:

- Número do rolo de sonar e número do eco no rolo (ou o equivalente digital).

- Datas e horas.

- Número de contacto.

- Detalhes da posição.

- Bombordo/estibordo.

- Inclinação do fundo.

- Atraso do peixe ("*layback*").

- Altitude do peixe acima do fundo.

- Avaliação do contacto, isto é, sombra, recepção cruzada, intensidade, classificação inicial.

- Futuras ações requeridas, isto é, investigação, realização de linhas intermédias, observação rápida, sem ações futuras, etc..

- A ação fica completa com a classificação final e a referência ao registo do destroço associado, se apropriado.

2.4.1.4 Deverão ser marcados os foras na sonografia ao mesmo tempo que no sondador e cada rolo deverá ter um título descritivo (se aplicável). Deve ser notado que o livro de registos e a sonografia podem ser separados e é vantajoso incluir informação suficiente na sonografia para permitir que esta possa ser usada por si só para propósitos de análise e verificação.

2.4.2. Registo de destroços

2.4.2.1 O processamento rigoroso dos registos dos destroços é uma tarefa que consome tempo. O estabelecimento de um procedimento correto no início evitará muitas vezes erros e confusões mais tarde. A posição e o detalhe de destroços individuais pode aparecer em diversos documentos e é necessário um grande cuidado para assegurar que estes registos são consistentes e corretos.

2.4.2.2 O hidrógrafo deverá assegurar que se efetuou o seguinte:

- Os dados de trabalho estão registados e armazenados sistematicamente.

- Todos os contactos são investigados e examinados de forma metódica.

- Os relatórios dos destroços foram completados, onde necessário.

- Todos os destroços foram marcados nos registos de trabalho e nos registos processados.

- Todas as posições e detalhes são consistentes.

2.4.2.3 Dados de destroços podem aparecer nos seguintes registos:

- Na conclusão da prancheta do sonar (ou equivalente digital).

- Percurso do sonar.

- Textura do fundo.

- Anotações nos registos de SVL e de sondador (ou dos seus equivalentes digitais, isto é, imagens dos contactos).

- Relatório do levantamento.

2.4.2.4 Rigor de posicionamento dos destroços. A posição de um destroço deve ser consistente em todos os registos. É recomendado o seguinte procedimento:

- Selecionar a melhor sonda sobre o destroço ("*on top*"); determinar leituras de ajudas à navegação para aquela posição, quer sob a forma de um fora sobre o destroço quer a partir do traçado da investigação do contacto com conversão para latitude e longitude para obtenção da posição principal.

- Registar a posição obtida durante a melhor sonda sobre o destroço.

- Marcar a posição principal no registo da posição do navio, no registo de contactos de sonar, no traçado de textura do fundo, e no registo de sondagem (como apropriado).

- Registar a posição principal no relatório do levantamento.

2.4.2.5 A prancheta deve mostrar a posição e a sonda mínima de cada destroço que for detectado. Se não tiver sido possível examiná-los completamente, deverá ser inserido um círculo a vermelho com a legenda “*Wk(NFS)*” - isto é, destroço não completamente levantado (*not fully surveyed*). É importante que não seja inserida nenhuma sonda dentro do círculo uma vez que pode ser erroneamente interpretada como a sonda mínima obtida num processamento subsequente.

2.4.2.6 A prancheta de sonar deverá mostrar a posição de cada destroço usando os símbolos apropriados contidos na publicação INT 1.

2.4.2.7 Cada destroço ou obstrução enumerado deverá ser acompanhado por registos representativos do SVL e do sondador ilustrando a estrutura (imagens do ecrã, se o sondador não tiver registo em papel). Os registos devem ser anotados com data/hora dos foras que balizam a estrutura, o rumo do navio e a velocidade média relativamente ao fundo e, no caso dos registos de SVL, o rumo verdadeiro do navio e a distância do peixe em relação ao fora. Deverá ser também inserida a profundidade mínima obtida ou calculada.

2.4.2.8 Deverá ser mostrado tanto detalhe quanto possível que deverá incluir o seguinte:

- Posição em que o destroço foi localizado, juntamente com o *Datum* horizontal do levantamento.

- Fora obtido – isto para indicar que correções foram aplicadas.

- Sonda mínima registada, como foi obtida e se os hidrógrafos a consideraram como definitiva – se a profundidade cartografada é diferente o hidrógrafo deve expressar o seu ponto de vista relativamente à razão da diferença, se a altura do destroço tiver sido calculada a partir de registos de SVL, deve ser afirmado se é ou não uma média de alturas obtidas a partir de direções opostas.

- Dimensões aproximadas e orientação juntamente com qualquer testemunho (por exemplo, o relatório dum mergulhador) acerca da identidade e condição do destroço.

- Detalhes da redução de maré utilizada.

- Comentários gerais, especialmente sobre qualquer correlação com outros destroços listados ou na vizinhança; existência e profundidade dos sulcos; profundidade média e natureza do fundo.

2.4.3. Registos de cobertura sonar

2.4.3.1 Sempre que o sonar seja utilizado num levantamento, deverá ser feita uma prancheta à mesma escala da prancheta final, com os seguintes dados:

- Percurso do navio durante a busca de sonar.

- Limites da área levantada com o sonar.

- Limites das áreas examinadas detalhadamente (não é necessário implantar as fiadas de investigação).

- Posições e números identificativos de todos os destroços e obstruções localizados durante o levantamento.

- Posições e números identificativos de todos os destroços e estruturas listadas no relatório do levantamento.

2.4.3.2 Quando for utilizado um sonar de busca (*searchlight sonar*) juntamente com o SVL, a prancheta deverá incluir:

- Áreas com ecos numerosos.

- Todos os contactos constantes e direção a partir da qual foram obtidos (não devem ser mostrados os contactos falsos).

- Classificação e qualidade dos contactos e se foram examinados.

2.4.3.3 Todas as posições dos contactos e dos destroços devem ser cuidadosamente verificadas com outras pranchetas, formulários e relatórios. Devem ser usados os símbolos seguintes nas pranchetas de sonar:

Destroço	Wk
Destroço, não completamente levantado	Wk(NFS)
Possível destroço	Wk(U) ver nota
Fundo	B
Bom contacto de sonar	g
Contacto de sonar razoável	f
Destroço rocegado	|Wk|

Nota: onde não for possível confirmar a identidade de um contacto como correspondendo a um destroço, mas sendo este contacto suficientemente forte para merecer a sua classificação como "possível destroço", deverá ser usada a qualificação adicional (U), "não examinado", para indicar que a investigação foi inconclusiva. "(U)" deve também ser usado quando um contacto não foi de todo examinado. A classificação "Wk(U)" deverá resultar num relatório do destroço.

2.4.3.4 Traçado do percurso do navio e foras. Onde o percurso do navio para operações de sonar diferir da sondagem principal, deverão ser identificados e anotados no registo foras suficientes, e devem ser abreviados exceto para o início e fim da fiada.

2.4.3.5 Limites da área levantada. Linha verde para SVL, vermelha para sonar de busca, e azul para mostrar as áreas de busca intensiva (com resultado no manuscrito ou referência a outro registo).

2.4.3.6 Destroços listados. Símbolo de destroço não perigoso a preto com número da lista de destroços.

2.4.3.7 Destroços localizados. Círculo preto com 5 mm de diâmetro.

2.4.3.8 Quando for usado apenas o sonar de busca, a prancheta deverá abranger toda a área de busca (idealmente deverá sobrepor-se à carta ou mapa topográfico de maior escala que cobre a área). Isso serve para mostrar os limites da área varrida pelo sonar de busca e poder ser combinada com qualquer outra prancheta desde que seja mantida a legibilidade.

Esta informação é usada pela autoridade cartográfica na atribuição do grau de qualidade dos dados.

2.4.3.9 As pranchetas de sonar devem mostrar uma legenda clara e abrangente para os símbolos utilizados. Adicionalmente, devem conter uma tabela mostrando as especificações da operação, incluindo alcance, modo (levantamento ou busca), depressão do feixe e altura média do peixe relativamente ao fundo.

2.4.3.10 Alguns dos dados acima requeridos podem ser combinados com outras pranchetas desde que a sua inclusão não interfira com a legibilidade da prancheta existente.

3. CLASSIFICAÇÃO DO FUNDO MARINHO

3.1. Antecedentes

3.1.1 Existem três solicitações para a classificação do fundo marinho: cartografia náutica, comercial/ambiental e militar.

3.1.1.1 Cartografia náutica. Para cartografia náutica e para propósitos de navegação é utilizado um método de classificação relativamente simples. É definido como a determinação da composição do fundo marinho. A publicação INT 1 contém uma listagem das classificações. O navegador necessita desta informação para:

- Decidir onde fundear.
- Determinar o tipo de tensa do fundo e quanto cabo usar.
- Ajudar a avaliar a segurança do fundeadouro.
- Proporcionar uma verificação adicional da navegação.

3.1.1.2 Cartografia Comercial/Ambiental. Uma caracterização mais detalhada, habitualmente obtida utilizando programas de processamento comerciais é utilizada para:

- Engenharia offshore, por exemplo: plataformas de petróleo fixas, faróis e barreiras.
- Prospecção mineira.
- Pescas, etc.

3.1.1.3 Cartografia Militar. Uma combinação de quatro tipos básicos de fundo marinho com dados adicionais específicos e atributos. Os utilizadores militares dependem desta informação para:

- Operações anfíbias.
- Contra-medidas de minas, isto é, seleção de área de operação de forma a evitar zonas de topografia não favorável.
- Operações submarinas e anti-submarinas, por exemplo, seleção de áreas seguras para os submarinos assentarem no fundo.
- Desempenho acústico do sonar.

3.1.1.4 No futuro, a informação de classificação militar do fundo marinho será provavelmente distribuída para os quartéis-generais e para as unidades operacionais na forma de *Additional Military Layers* (AML). Estas são capazes se serem lidas em sistemas de informação geográfica, e em sistemas de comando para tomada de decisão táctica.

3.1.2. Modelos de classificação do fundo marinho

3.1.2.1 A informação é normalmente apresentada como um modelo de classificação do fundo, exemplos dos quais estão na figura 4.8. Os dados podem ser obtidos por SFS, SMF, SVL e amostragem direta. E é apresentada como uma mistura de símbolos e palavras. Como em todos os registos, a informação deve ser precisa e claramente implantada.

3.1.2.2 Nos modelos de classificação do fundo marinho deve ser mostrada a seguinte informação:

- Natureza do fundo a partir de amostras.
- Textura do fundo marinho a partir do sondador, SVL, etc.
- Contactos e estruturas do fundo marinho (isto é, destroços, ondas de areia, marcas de arraste).
- Isóbatas.

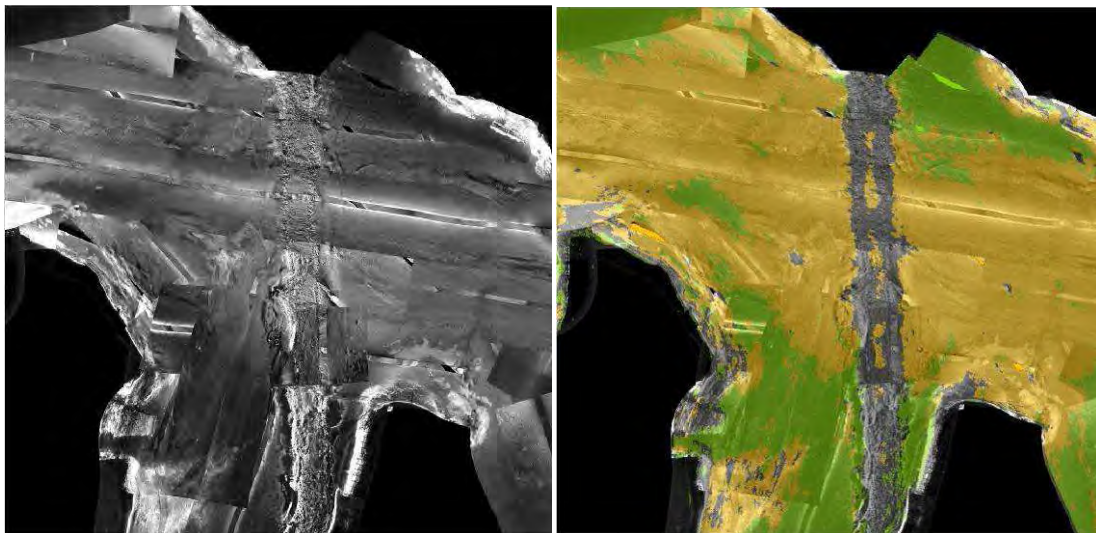



Figura 4.8 – Exemplo de mosaico de sonar de varredura lateral e de modelos de classificação (utilizando o *software* de classificação Classiphi da QuinetiQ).

3.1.2.3 Exemplos de registos sonar. Os problemas na identificação de destroços em registos sonar são bem conhecidos dos hidrógrafos e não necessitam de mais aprofundamento. Exemplos de registos de sonar para classificação do fundo marinho, por comparação, podem ser encontrados em "*Sonographs of the seafloor*" de Belderson, Kenyon, Stride e Stubbs.

3.1.3. Amostras do fundo marinho

3.1.3.1 A natureza do fundo marinho será determinada em profundidades inferiores a 200 m como se segue:

- Para apoiar na interpretação de quaisquer registos de SVL.

- Para proporcionar uma validação (*ground truth*) dos dados de detecção remota e para confirmação de modelos de classificação do fundo marinho.

- Em todos os possíveis fundeadouros.

- Em todos os bancos, baixios e montes submarinos, particularmente quando for provável que estes sejam instáveis, e nos canais entre eles.

- No topo e na base de montes submarinos, em profundidades superiores a 200 m, quando as profundidades não forem extremas e estiverem disponíveis métodos de amostragem apropriados.

3.1.3.2 Adicionalmente, a natureza do fundo deve ser obtida em intervalos regulares por toda a área de levantamento. A frequência de amostragem variará, dependendo da profundidade e da extensão em que o fundo marinho permanece homogéneo, com amostras obtidas em intervalos entre 1.0 e 1.7 km em profundidades inferiores a 200 m.

3.1.3.3 A natureza do fundo marinho obtida através de amostras será incluída no modelo de classificação. A correlação entre as amostras e a textura derivada do registo de sonar é muito importante; fornece a única verificação real da interpretação. As amostras do fundo marinho devem obedecer a três condições, isto é, deverão ser:

- Uma amostra completa – os amostradores de arrasto são conhecidos por perderem uma boa parte das porções finas da amostra durante a sua recolha;

- Num único local – Os amostradores de arrasto podem ser arrastados durante centenas de metros e não fornecem uma amostra pontual.

- Posicionadas rigorosamente – as amostras devem estar ligadas ao mesmo rigor de posicionamento que qualquer outro dado do levantamento, com o fora registado no instante em que o amostrador toca o fundo marinho.

3.1.3.4 Para preencher os requisitos anteriores as amostras devem ser colhidas com uma draga ou um *corer* com o navio parado e o fora obtido pelo sistema principal de navegação (ou outro com exatidão comparável). A sua posição no modelo de classificação é mostrada por um pequeno ponto rodeado por um círculo, com a classificação na proximidade.

3.1.4. Natureza do fundo marinho

3.1.4.1 O fundo marinho é formado por rochas de vários tipos, cobertas na maioria dos locais por sedimentos não consolidados originários de duas fontes principais:

- Materiais lexiviados de massas continentais adjacentes ou materiais erodidos do próprio fundo marinho.

- Sedimentos biogénicos que são formados a partir do decaimento de produtos animais e vegetais nas bacias oceânicas.

3.1.5. Classificação das amostras

3.1.5.1 A classificação inclui a descrição da amostra com dois termos principais:

- Um adjetivo descritivo, como “grosseiro”, “pequeno”, etc.

- Uma descrição geral como “rocha”, “lodo”, etc.

3.1.5.2 Amostras mistas. A maioria dos sedimentos naturais raramente são compostos por apenas um tipo de sedimento, são frequentemente uma mistura. Quando isto ocorre, a classificação deverá seguir o princípio de listar primeiro o material predominante, por exemplo "*fSbkSh*", indica que há mais areia na amostra do que conchas.

3.1.5.3 Tamanho do grão e notação. Na Tabela 4.5 os sedimentos são classificados de acordo com o tamanho do grão.

Tabela 4.5 Tamanho do grão (traduzido de "*UKHO - Hydrographic Quality Assurance Instructions for Admiralty Surveys*").

Descrição geral	Nome		Limites (mm)	Observações
Argilas	*M*	Argila	<0.002	Quando seco na mão, não sai facilmente
		Silte	0.002 – 0.063	Quando seco na mão, sai facilmente
Areias	*fS*	Areia muito fina	0.063 – 0.125	
		Areia fina	0.125 – 0.250	
	mS	Areia média	0.250 – 0.50	
	cS	Areia grosseira	0.5 – 1.0	
		Areia muito grosseira	1.0 – 2.0	
Cascalhos	*smG*	Cascalho	2.0 – 4.0	Desde a grossura de uma mina de lápis até uma ervilha pequena
	P	Seixo	4.0 – 64.0	Ervilha pequena até um punho de homem fechado
	lG	Burgau	64.0 – 256.0	Punho fechado até cabeça humana
Rochas	R	Blocos	> 256.0	Maior que a cabeça humana
		Rocha		

3.1.5.4 O tamanho do grão pode ser determinado a olho nu ou por comparação com amostras padrão ilustradas num "disco de comparação", se disponível. Os sedimentos mais finos são os mais difíceis de classificar. Se o tamanho não puder ser determinado a olho nu ou por comparação, a amostra pode ser colocada entre os dentes. Se a sensação é de uma textura granular então é silte, se é suave e liso/amanteigado então é argila. É extremamente difícil estimar percentagens relativas quando as amostras contêm areia, silte e argila.

3.1.5.5 Rocha. Uma amostra só deve ser classificada como rocha se existir uma evidência positiva. Se a única evidência for uma marca, denteado, ou um amostrador danificado então a abreviatura "h", correspondendo a duro, deve ser utilizada.

3.1.5.6 Outras descrições. Quando puderem ser identificadas qualidades adicionais ou o tipo de fundo puder ser positivamente classificado como incluindo outro tipo distinto de material, devem ser consultadas várias referências.

3.1.6. Métodos de obtenção de amostras do fundo marinho

3.1.6.1 As amostras do fundo marinho podem ser obtidas por vários meios, os mais comuns são:

- Prumo de mão (*lead line*)
- Colhedores
- Colhedores tipo *snapper* e *scoop*

- *Corers*
- Dragas
- Mergulhadores
- Veículos de operação remota (ROV) e submersíveis
- Amostragem de oportunidade (por exemplo, a partir do ferro)

3.1.6.2 A seleção e o uso do dispositivo apropriado dependerão da natureza da investigação, da natureza do fundo marinho, da profundidade e do equipamento disponível a bordo para lançamento e recolha do equipamento de amostragem.

3.1.6.3 A sondagem com **prumo de mão** é um método tradicional de obter e indicar a natureza de uma fina camada superficial do fundo marinho. Não permite determinar a profundidade da camada superficial nem saber o que está abaixo desta. O chumbo do prumo de mão tem na base uma cavidade que é cheia com sebo ou com outra substância igualmente pegajosa como petróleo bruto ou gordura, a que as partículas de sedimento aderem. Quando o fundo marinho está coberto com objetos maiores como seixos ou rocha, pode ser obtida uma impressão do material do fundo, sem garantias.

3.1.6.4 A vantagem do prumo de mão é que é simples e fácil de operar. As desvantagens são:

- Material de maiores dimensões pode não ser detectado (seixos, por exemplo).
- Apenas a camada superficial é amostrada.
- A confiança na amostragem diminui com a profundidade.
- A amostra está contaminada pelo material utilizado para colheita.
- Existe perturbação da amostra durante a colheita.

3.1.6.5 Colhedores. Estes são fornecidos com o propósito da colheita de amostras de média dimensão do fundo marinho e da camada subjacente. Geralmente incluem um balde ou pá, que é ativado ao tocar no fundo marinho. Alguns têm uma armação de molas, e outros fecham-se quando içados do fundo. Os colhedores raramente são apropriados para amostragem de lodo mole ou líquido uma vez que a amostra é lavada do balde antes de atingir a superfície.

3.1.6.6 Colhedor *Shipek*. O colhedor *Shipek* consiste em dois semi-cilindros concêntricos; o meio cilindro interior, ou balde de amostragem, mantém-se aberto contra um par de poderosas molas axiais por um travão de engate. Um peso deslizante dispara o colhedor quando este embate no fundo marinho e permite que o balde rode 180º sob ação das molas. Durante esta rotação o balde retira uma amostra do fundo marinho. O balde permanece então fechado até ser trazido à superfície. O colhedor *Shipek* é mais eficaz em sedimento mole e não consolidado. É possível que ressalte num fundo compacto, e o fecho do balde pode levantar o colhedor do fundo recolhendo-se apenas uma pequena amostra, ou nenhuma. Nestas condições podem-se melhorar por vezes os resultados reduzindo a velocidade de impacto do colhedor sobre o fundo.

3.1.6.7 *Corers*. São usados para obtenção de uma amostra vertical não perturbada do fundo marinho (testemunho). Geralmente penetram até uma distância considerável do fundo. Os *corers* incluem geralmente um tubo ou caixa em forma de cortador de maçã ou de massa.

São levados para o fundo marinho e quando retirados retêm uma amostra não perturbada das camadas sedimentares.

3.1.6.8 Os mecanismos de retenção podem variar desde a criação de vácuo na parte de trás da amostra até placas de cobertura ou obturadores. Normalmente existe uma combinação de métodos para manter a amostra no sítio. Os *corers* podem ser levados para o fundo por vários meios – o seu próprio peso, explosivos, pneumáticos ou vibração mecânica.

3.1.6.9 Dragas. As dragas estão desenhadas para serem arrastadas ao longo do fundo marinho, colhendo material solto e sedimento. Incorporam frequentemente um filtro que permite a passagem dos sedimentos mais finos. As amostras são sempre perturbadas mas refletem os materiais do fundo sobre uma área relativamente grande. As dragas podem ser lançadas a qualquer profundidade.

3.1.6.10 Outros métodos de amostragem:

Mergulhadores. Uma inspeção com mergulhadores permite uma identificação positiva do fundo marinho. Podem ser identificadas pequenas e grandes estruturas. Os mergulhadores estão limitados pela profundidade da água a que podem trabalhar, mas este é um bom método para a obtenção de amostras em águas pouco profundas e com tempo suficiente.

Veículos Subaquáticos Não Tripulados (*Unmanned Underwater Vehicles* – UUV). UUV operados remotamente podem auxiliar à classificação do fundo marinho quer através da colheita de amostras (geralmente com uma pá ou outro colhedor) ou através da obtenção de imagens vídeo para análise posterior. Os UUV são cada vez mais equipados com sondas de feixe simples, SMF e SVL e podem ser usados para adquirir os mesmos dados que os navios de superfície.

Amostragem de oportunidade. Amostras úteis podem também ser obtidas a partir do sedimento que vem nas amarras dos navios, ferros ou amarrações de bóias. Estas amostras devem ser usadas com cautela uma vez que é provável que apenas as amostras com uma natureza pegajosa sobrevivam à ação de lavagem do equipamento no seu caminho até à superfície.

3.1.7. Registo de amostras do fundo marinho

3.1.7.1 Registo de amostras do fundo marinho. Os dados devem ser formatados para apoiar/complementar o arquivo de dados relevantes de uma forma que esteja prontamente disponível para as autoridades interessadas. O relatório do levantamento deverá conter todos os detalhes dos métodos de amostragem utilizados durante o levantamento juntamente com quaisquer problemas que tenham sido encontrados.

3.1.7.2 A localização e a classificação das amostras obtidas deverão ser disponibilizadas numa prancheta ou num modelo digital que acompanha os dados batimétricos.

3.2. Sensores para classificação

3.2.1 Esta secção descreve os vários sensores utilizados para classificação do fundo marinho.

3.2.1.1 Sonar de varredura lateral. Adicionalmente à localização de destroços e de obstruções entre as fiadas do levantamento, o SVL fornece também uma quantidade considerável de outros tipos de informação sobre o fundo marinho. Estes dados, quando combinados com amostras do fundo marinho e contornos de profundidade, são de grande valor para a produção de modelos de classificação do fundo marinho. A importância desta informação cresceu ao longo dos anos, numa dimensão tal que em muitos levantamentos são as considerações sobre o sonar, e não sobre a batimetria, que determinam a seleção do

espaçamento e direção das fiadas. É necessário um grande cuidado na preparação e verificação destes traçados, para que todo o seu potencial seja realizado.

3.2.1.2 Sondadores multifeixe. A introdução de SMF nos levantamentos hidrográficos não permitiu apenas a determinação com maior precisão da batimetria e maior cobertura do que anteriormente, mas também a possibilidade de determinar limites e tipos de sedimento de uma forma relativamente rápida e eficaz. Nesta perspectiva, o hidrógrafo pode agora interpretar a imagem de retroespalhamento de sistemas de varredura multifeixe bem como imagens de sonar lateral. O benefício adicional de se obter informação de retroespalhamento a partir do SMF, enquanto se adquire informação batimétrica, é o de permitir um levantamento mais eficiente em termos de custos (e de tempo).

3.2.1.3 Sondadores de feixe simples. Estão disponíveis, desde há vários anos, programas de classificação do fundo marinho que se podem aplicar ao sondador de feixe simples. São utilizados particularmente na indústria de pesca. Mais abaixo descreve-se um sistema típico.

3.2.1.4 Outros métodos. Outros sensores com potencial para a classificação do fundo marinho incluem:

- Batimetria com laser aerotransportado (LIDAR). Continuam-se a desenvolver pesquisas na extração de outra informação, que não apenas a batimetria, a partir da forma da onda refletida, incluindo a turbidez e a classificação do fundo marinho.

- Batimetria eletromagnética aerotransportada. Os métodos de AEMB oferecem o potencial de obtenção de informação de classificação do fundo, mas esta capacidade necessita ainda de ser desenvolvida.

- Detecção remota. A informação de classificação do fundo marinho pode ser obtida a partir de satélite e de imagem aérea em águas pouco profundas mas ainda requer dados de verificação *in loco*.

- Sonares de varredura frontal (FLS). Originalmente desenhados puramente para navegação e para evitar colisões, alguns desenvolvimentos recentes oferecem capacidades batimétricas e de classificação do fundo marinho. Por exemplo, o FLS Petrel da *Thales Underwater Systems* compara a energia do retorno acústico com o nível de ruído ambiente e o ângulo do feixe incidente no fundo marinho de modo a fornecer um valor aproximado que será único para diferentes densidades do fundo, materiais e porosidade. Através da verificação destes valores com amostras do fundo, fica disponível a capacidade de classificação em tempo real em paralelo com a batimetria.

3.3. Classificação – Teoria

3.3.1 Esta secção introduz a colheita e interpretação de informação de retroespalhamento e compara os métodos usados pelo SMF e SVL. As vantagens e desvantagens de cada um são discutidas. Cobre também os métodos que o SMF usa para remover a distorção devida ao ângulo de incidência do sinal sobre o fundo, e outras causas.

3.3.1.1 O SVL, e a maioria dos SMF, pode mostrar uma representação do fundo marinho usando o princípio da imagem acústica. A maioria das imagens de SVL mostra representações relativamente pouco sofisticadas do impulso retornado no sentido em que a imagem só é corrigida para um número limitado de parâmetros mensuráveis. Por exemplo, receptores de SVL modernos têm frequentemente a possibilidade de medir a velocidade de avanço

do navio e ajustar o eixo ao longo da fiada para que a escala nesta direção seja igual à escala perpendicular à fiada. Também, podem medir a altura do peixe de sonar acima do fundo marinho, e remover esta porção da imagem para que esta comece no fundo imediatamente abaixo do peixe e cubra o fundo até ao alcance selecionado. A imagem pode ser corrigida para que a distância na imagem seja proporcional à distância no fundo, no entanto, isto normalmente é conseguido assumindo que o fundo marinho é plano. Uma vez que isto normalmente não é o caso, existirão distorções na imagem de SVL.

3.3.1.2 Por outro lado, num SMF, a informação de retroespalhamento é um subproduto da colheita de dados batimétricos. É semelhante à saída dos dados do SVL e produz uma representação do fundo marinho em termos de intensidade do eco recebido. A diferença significativa entre os dois é que o SMF mede a profundidade juntamente com a informação de retroespalhamento e isto permite um nível de visualização mais sofisticado. Os dados de profundidade, quando combinados com o ângulo do feixe, dão efetivamente a posição no fundo marinho à qual a informação de retroespalhamento corresponde e consequentemente fornece uma verdadeira correção geométrica da imagem de retroespalhamento.

3.3.2. Imagem de retroespalhamento

3.3.2.1 O resultado da imagem tipo sonar lateral baseada na informação de retroespalhamento produzida pelo SMF é um mosaico cobrindo o fundo marinho que mostra a intensidade de retroespalhamento correspondente a cada ponto no fundo do mar. Existe normalmente a possibilidade de combinar a informação de retroespalhamento e profundidade para que sejam co-registadas por posição. Assumindo que as fiadas foram executadas adequadamente, a imagem deve proporcionar 100% de cobertura e pode acontecer que a cobertura de retroespalhamento seja maior que a de batimetria se alguns feixes tiverem sido invalidados por razões de exatidão. É provável que a informação extra de retroespalhamento não seja utilizada uma vez que não tem informação de profundidade associada, mas permanece à mesma disponível.

3.3.2.2 Terá que ser realizada uma certa quantidade de pós-processamento para normalizar a imagem de retroespalhamento e remover a distorção no sinal originalmente recebido. As correções dependem da distância (para corrigir a atenuação e a dispersão do feixe), potência de saída (que deve ser registada com a informação do eco) e direcionalidade do feixe – transmissão e recepção, se variar com o tempo. Adicionalmente, existirão correções a ser aplicadas que dependem no percurso do sinal e da área sonorizada. Estas são correções para o ângulo do feixe, percurso do raio, e inclinação local do fundo, que podem ser todas combinadas num ângulo rasante no qual o sinal atinge o fundo marinho. A figura 4.9 mostra exemplos de intensidade de espalhamento para diferentes tipos de fundo marinho a diferentes ângulos rasantes.

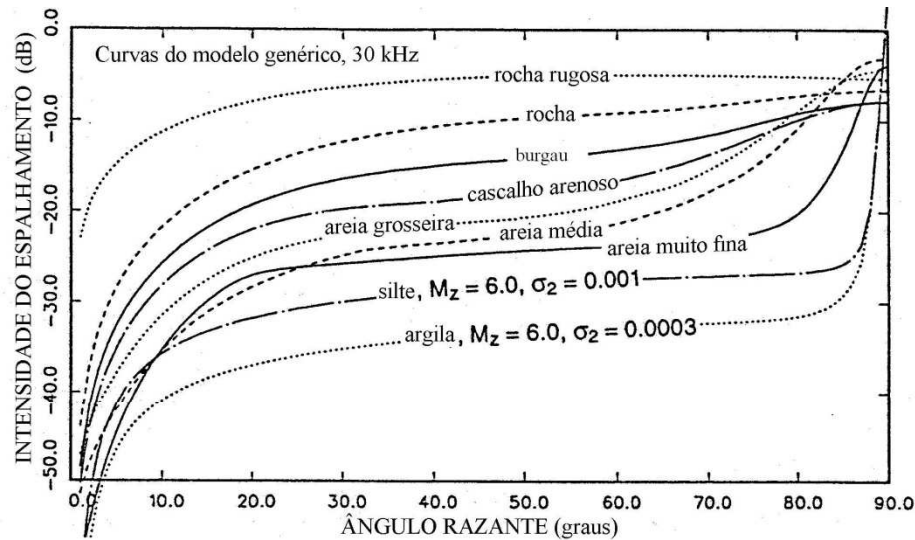



Figura 4.9 – Exemplo de intensidade de espalhamento (adaptado de "*High frequency Ocean Environmental Acoustic Models Handbook*", Outubro de 1994)

3.3.3. Registo de varredura lateral

3.3.3.1 A correção da imagem em termos de posição é designado **registo de varredura lateral** (uma vez que o termo varredura lateral é frequentemente usado com o SMF para referir a intensidade da imagem de retroespalhamento). A correção requerida ocorre entre a distância oblíqua dada pelo tempo de viagem do sinal e a verdadeira posição no fundo marinho, ou pelo menos a verdadeira distância do ponto debaixo do transdutor para a porção de interesse do fundo marinho.

3.3.3.2 Como mencionado anteriormente, o método usado com imagens de SVL tende a ser muito simplista, mas usando a informação extra da profundidade disponível no SMF, o conhecimento do perfil de velocidade do som e a atitude no navio no ponto de transmissão, o registo pode ser tornado mais exato. Uma grande parte do cálculo já foi levado a cabo quando se produziu as profundidades corrigidas na aplicação de batimetria do SMF e por vezes esta informação pode ser disponibilizada para a imagem de varredura lateral.

3.3.4. Mosaico

3.3.4.1 A transformação da imagem de varredura lateral do SMF numa vulgar imagem *raster* designa-se por construção do mosaico. A imagem será corrigida em termos de posição para o movimento do navio; no entanto podem subsistir alguns problemas com o procedimento de construção do mosaico. Em alguns SMF, a pequena dimensão da pegada dos feixes centrais pode deixar pequenos intervalos não cobertos entre cada pegada. O propósito da imagem de varredura lateral é a produção de uma imagem *raster* regular que permita a comparação direta de um ponto com outro e a existência de falhas nos dados pode tornar isto difícil. Poderá ser possível preencher as falhas com interpretação.

3.3.4.2 Se a cobertura é superior a 100% e há sobreposição de dados, é provável que os dados tenham sido adquiridos a diferentes ângulos e direções de sonorização. Em vez de tentar combinar os dados, os dados do feixe preferido são aceites e os dados do outro feixe são suprimidos. Haverá inevitavelmente uma descontinuidade onde as duas faixas cobertas se encontram mas o método acima descrito minimiza a distorção que isto causará. Há vários métodos disponíveis que permitem escolher automaticamente o feixe preferido, por exemplo dando preferência ao feixe intermédio em detrimento do nadir e feixes exteriores.

3.3.4.3 A interpretação da imagem de retroespalhamento dependerá portanto do conhecimento da informação retida pelo sistema e do seu método de apresentação dos dados. Alguns sistemas têm a capacidade de reter informação sobre a distribuição dos dados dentro do feixe, portanto há maior detalhe do que aquele correspondente à pegada. Outros métodos usam um conjunto de dados reduzido que fornece menor detalhe, retendo (por exemplo) apenas a média ou a intensidade máxima do pico para cada feixe. A figura 4.10 mostra que a batimetria por si só não fornece a mesma informação que a imagem *raster* do mosaico de retroespalhamento em relação á variação do fundo marinho.

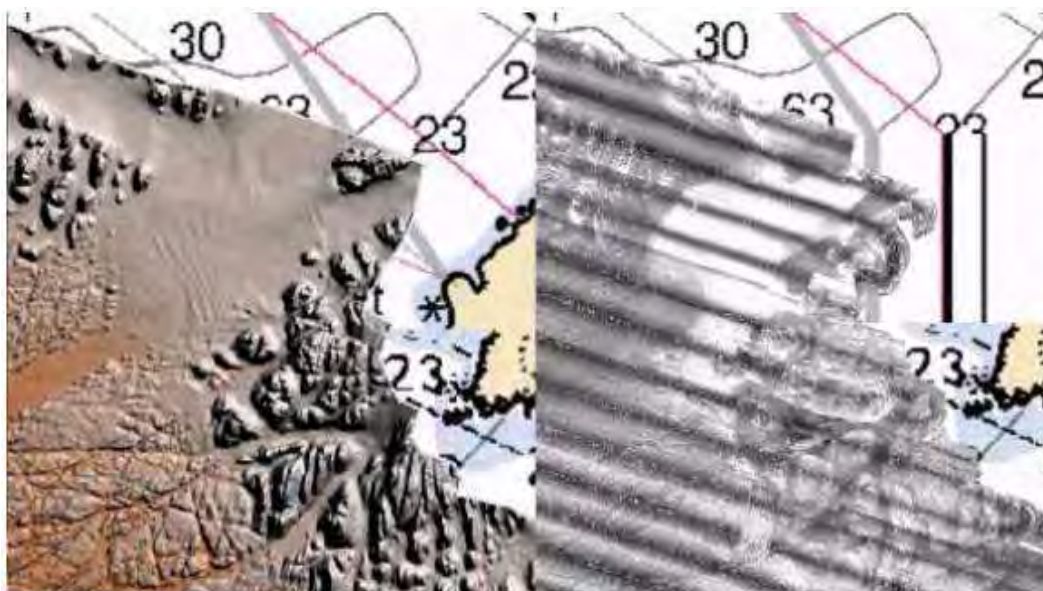



Figura 4.10 – Visualização do fundo marinho – batimetria (à esquerda) versus mosaico de imagem *raster* de retroespalhamento (à direita).

3.3.5. Classificação – Geral

3.3.5.1 Existem complicações adicionais quando se tenta classificar o tipo de fundo. Juntamente com a impedância acústica, existem outras características do fundo marinho que irão afetar a forma e as características do sinal retornado. Se o fundo marinho é rugoso, mas com detalhe mais pequeno que a pegada do feixe, então este terá influência na intensidade do retorno.

3.3.5.2 A única forma de contemplar verdadeiramente estes diferentes efeitos é ter um conhecimento antecipado do fundo do mar e isto só é possível quando se realizou uma amostragem direta do fundo do mar. No entanto, certos tipos de fundo marinho terão características gerais diferentes; logo o retroespalhamento pode ser usado para conduzir uma classificação geral. Se um retorno particular for comparado com dados de amostragem direta, então pode ser construída uma base de dados de classes de retroespalhamento, permitindo a classificação automática. Esta base de dados pode ser tão complexa quanto for requerido, com classificações únicas atribuídas a diferentes áreas do gráfico rugosidade/dureza. Existe um número de diferentes ferramentas de *software* para este propósito, apesar de cada um ter provavelmente um procedimento diferente e diferentes requisitos para realizar esta tarefa.

3.3.5.3 A utilização da imagem acústica para a classificação do fundo marinho é um campo em rápido desenvolvimento. Foram feitos avanços iniciais com o uso de sistemas de incidência vertical, onde o método era estudar os parâmetros do eco retornado, incluindo a variação de intensidade ao longo do tempo e o gráfico da frequência de espalhamento, para proporcionar uma indicação do tipo de fundo.

3.3.5.4 O requisito para classificação do fundo depende do uso final da informação. Por outro lado, os parâmetros particulares que são usados para identificar um tipo particular de fundo marinho podem depender do requisito de classificação. As características típicas que podem ser medidas são o tipo de fundo marinho em termos hidrográficos tradicionais, que classificariam o fundo em termos de dimensão do grão, textura e tipo. Outras características podem ser as propriedades físicas do fundo que podem ser relevantes para, digamos, um levantamento de um oleoduto, ou propriedades acústicas que podem ter interesse para a guerra de minas, guerra anti-submarina e oceanografia. Estas incluem:

- Tipo de sedimento, isto é:
    - Dimensão do grão, textura, como, areia, silte, argila, cascalho
    - Mineralogia, como, cinza, argila, sílica, carbonatos
    - Genética, como, biogénica, terrígena
- Propriedades físicas: dimensão do grão, densidade e porosidade.
- Propriedades acústicas: velocidades, atenuação.
- Propriedades geotécnicas: tensão de corte, módulo elástico.
- Morfologia: textura e relevo.

3.3.5.5 Têm sido seguidas várias abordagens ao problema da classificação do fundo, focando-se nas diferentes propriedades do sinal retornado e utilizando diferentes metodologias para alcançar o resultado. De forma a alcançar esta classificação remota olha-se para sistemas e modelos desenvolvidos para a interação do som com o fundo marinho e o efeito que esta interação deve ter na forma do impulso. Um destes sistemas adotado para classificação usando a sonda de feixe simples é o RoxAnn, desenvolvido pela *Marine Microsystems Ltd*.

3.3.6. RoxAnn

3.3.6.1 RoxAnn é um dos sistemas de classificação do fundo marinho comerciais que está ligado a sondadores existentes (tipicamente sistemas de incidência vertical) através de um amplificador principal que iguala a impedância do sistema à do sondador. O desenho foi baseado em observações de performance de sondadores em áreas conhecidas de diferentes tipos de fundo marinho. A classificação de sedimentos é alcançada através da identificação de dois parâmetros (ver Figura 4.11):

- E1 – a energia integrada debaixo da cauda do primeiro retorno, isto é a rugosidade.
- E2 – a energia integrada debaixo do segundo retorno (múltiplo), isto é, a dureza.

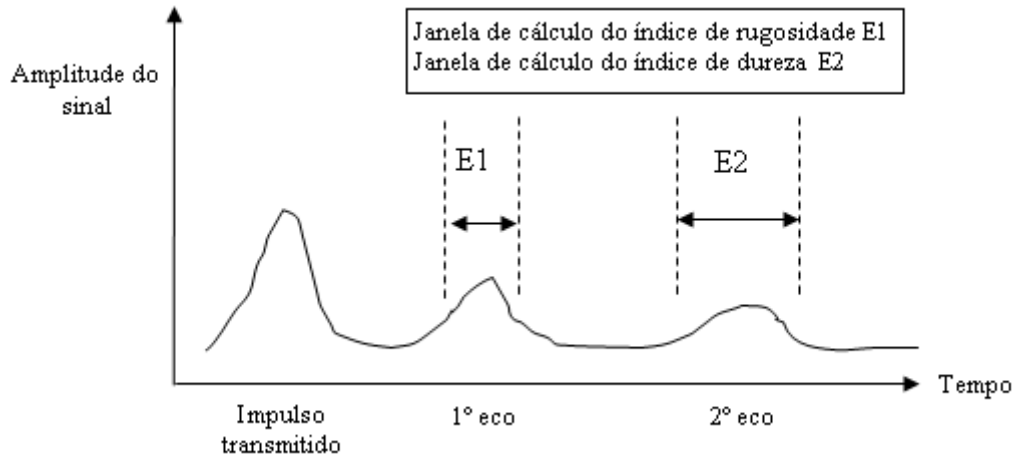



Figura 4.11 RoxAnn – Quantificação de rugosidade (E1) e de dureza (E2).

3.3.6.2 Então, através do uso de uma tabela comparativa que grafica a dureza contra a rugosidade, pode-se introduzir o valor observado que foi confirmado com a amostragem do fundo, e calibrar o sistema para uma classificação automática naquele local. Este sistema requer calibração periódica e requererá uma nova calibração ao ser deslocado para uma nova área. A Figura 4.12 mostra valores de E1 e E2 e o tipo de fundo que foi atribuído (baseado na amostragem direta).

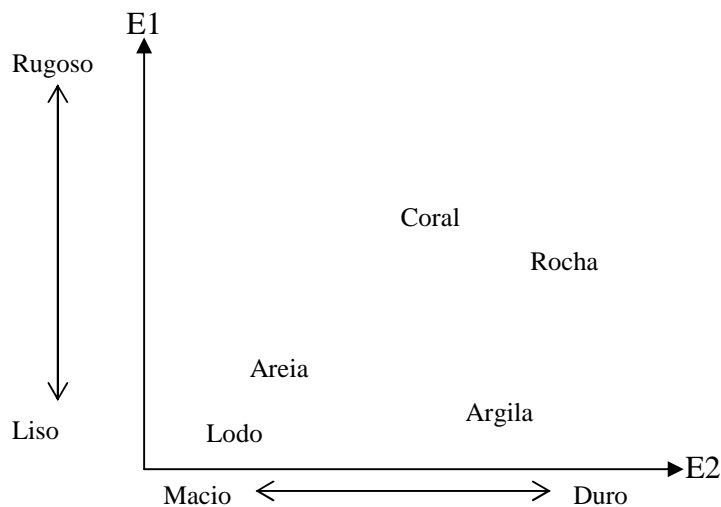



Figura 4.12 RoxAnn – Valores de E1 e de E2 (valor apenas exemplificativo).

3.3.6.3 Este sistema tem como vantagens ser relativamente simples e económico. E como desvantagens o não ser quantitativo, necessitar ser calibrado, e depender de retornos múltiplos, o que levanta a questão da variabilidade como função do estado do mar.

3.3.7. Classificação utilizando sondador multifeixe

3.3.7.1 O SMF oferece medições georreferenciadas da intensidade do retroespalhamento instantâneo, e estimativas pontuais da elevação do fundo marinho (sondas). Ambas podem ser usadas, quer juntas quer separadamente, para tentar classificar o fundo marinho, usualmente em conjugação com pacotes de *software* comerciais desenhados para este propósito. Para estes sistemas, que são calibrados ou para os quais uma calibração relativa pode ser feita, as medições da intensidade de retroespalhamento podem ser reduzidas/normalizadas de acordo com:

- A distância à estrutura (atenuação e dispersão esférica);
- Potência da fonte, directividade do feixe (transmissão e recepção)
- Área sonorizada (ângulo do feixe, percurso do raio refratado, declive do fundo marinho)

3.3.7.2 Há três métodos principais empregues em classificação do fundo com sonares de faixa baseados na variabilidade da estrutura do eco para se inferir a informação sobre a natureza do fundo marinho:

- Mapeamento de texturas e estimativa espectral
- Função densidade de probabilidade do pico da amplitude do eco
- Funções de dependência angular do retroespalhamento acústico

3.3.8. Mapeamento de texturas

3.3.8.1 Este método olha para a variação da intensidade do retroespalhamento como sendo uma função do espaço 2D (dimensões horizontais). É baseado na identificação de mudanças significativas nas características dos ecos quer dentro de um impulso, quer entre impulsos consecutivos. Em essência, é uma estimativa da estatística espacial 2D da imagem que representa a amplitude da energia acústica retroespalhada pelo fundo marinho.

3.3.8.2 Mesmo na ausência de um sistema de sonar calibrado, é fácil ver que as características da textura da imagem de SVL contêm informação sobre o fundo marinho. A maioria dos SVL iniciais foi desenvolvida com o propósito de detecção de estruturas, tendo como objetivo a utilização de toda a gama dinâmica do dispositivo de visualização, geralmente um registador de papel úmido ou um monitor gráfico, para maximizar o contraste do eco retornado. Para este propósito foi desenvolvido o controlo automático de ganhos. O lado prejudicial deste desenvolvimento foi que, na maioria dos casos, o nível absoluto da intensidade da retroespalhamento não era preservado. Todavia, tal técnica de processamento de sinal é ideal para fazer sobressair informação textural na imagem. Isto foi alcançado através da introdução de dois métodos:

- Potência do espectro de frequências
- Matrizes de co-ocorrência do nível de cinzentos

3.3.9. Potência do espectro de frequências

3.3.9.1 A retrodipersão acústica no fundo marinho muda grosseiramente com o quadrado do co-seno do ângulo de incidência (Lei de Lambert) até ângulos rasantes baixos. Portanto, pode ser assumido que as variações na amplitude dos ecos do fundo marinho, recebidos pelo sonar ao longo deste sector angular são expressões da rugosidade inerente à superfície de retroespalhamento. Isto indicaria a possibilidade de classificar estes retornos, e portanto o tipo de fundo baseada na sua forma espectral.

3.3.9.2 Quando aplicado ao SMF, este método deve ser limitado ao segmento exterior da faixa coberta onde a dependência angular dos níveis de retroespalhamento acústico se nivela e onde o comprimento da área sonorizada instantaneamente é relativamente constante na transversal à fiada. Na região de quase incidência vertical, a combinação do sonar montado no casco a alta altitude, com a variação rápida do tamanho da área sonorizada e a dependência angular do retroespalhamento acústico colocam limitações severas na

assumpção de que a forma espectral se relaciona diretamente com o tipo de fundo marinho.

3.3.9.3 Adicionalmente, porque a série temporal de intensidades de energia retroespalhada obtida com a configuração de SMF é uma junção de vários feixes, existe a possibilidade de introdução de energia na potência do espectro em comprimentos de onda espaciais equivalentes ao espaçamento dos feixes.

3.3.9.4 O comprimento do impulso de muitos sistemas de águas pouco profundas é variável à medida que se move entre águas muito e pouco profundas. Isto muda a área sonorizada instantaneamente e o comprimento das escalas que podem ser observadas com a potência do espectro.

3.3.10. Matrizes de co-ocorrência do nível de cinzentos

3.3.10.1 Para identificação de fronteiras entre zonas com o mesmo padrão textural na imagem de varredura lateral, são usadas as técnicas tradicionais de processamento da imagem de matrizes de co-ocorrência do nível de cinzentos (GLCM). Esta técnica caracteriza a inter-relação espacial a 2D dos níveis de cinzentos (onde o tom de cinzento se refere à intensidade do retroespalhamento) numa imagem com uma gama variando entre uma textura fina, correspondente a mudanças frequentes em distâncias curtas, a uma textura grosseira correspondente a poucas mudanças ao longo de grandes distâncias. As matrizes de co-ocorrência são calculadas para um conjunto de distâncias e relações angulares espaciais. Cada GLCM corresponderá a uma textura diferente, que pode ser então interpretada como um tipo de fundo marinho diferente.

3.3.10.2 Um inconveniente do método de GLCM é que deve ser implementado no mosaico de varredura lateral, que é um produto matricial. Como discutido anteriormente, o processo de construção do mosaico é um compromisso entre preservar a resolução transversal da amplitude do retroespalhamento e manter a resolução longitudinal. Assim, os mosaicos de varredura lateral são geralmente versões da média (ou da mediana filtrada) dos dados brutos de intensidade. Como tal, não podem exibir as mesmas características estatísticas que os dados brutos originais. Consequentemente, as características usadas para classificação são apenas aplicáveis aos dados que sofreram exatamente a mesma transformação de uma série temporal de varredura lateral num produto matricial. Adicionalmente, é requerida alguma forma de verificação com a realidade para identificação do tipo de fundo marinho, porque não há modelos que liguem a GLCM a propriedades físicas específicas do fundo marinho, e diferentes litologias podem exibir as mesmas características texturais.

3.3.11. Função densidade de probabilidade do pico de amplitude

3.3.11.1 A função densidade de probabilidade (PDF) do pico de amplitude do retroespalhamento acústico do fundo marinho é um processo de reverberação cujo comportamento estocástico (estatístico) pode ser descrito por amostras instantâneas em quadratura com distribuição Gaussiana, com uma envolvente (amplitude do eco) distribuída de acordo com uma função densidade de probabilidade de Rice e uma fase distribuída uniformemente. Relembrando que os termos finais da PDF de Rice têm uma forma em distribuição de Gauss quando o sinal de retorno é maioritariamente coerente, e uma forma em distribuição de Rayleigh quando o sinal é maioritariamente disperso, é possível derivar uma medida de coerência a partir da estatística da envolvente. A Figura 4.13 mostra uma comparação entre as curvas estatísticas de Rayleigh e de Gauss medindo a probabilidade da amplitude de um eco.

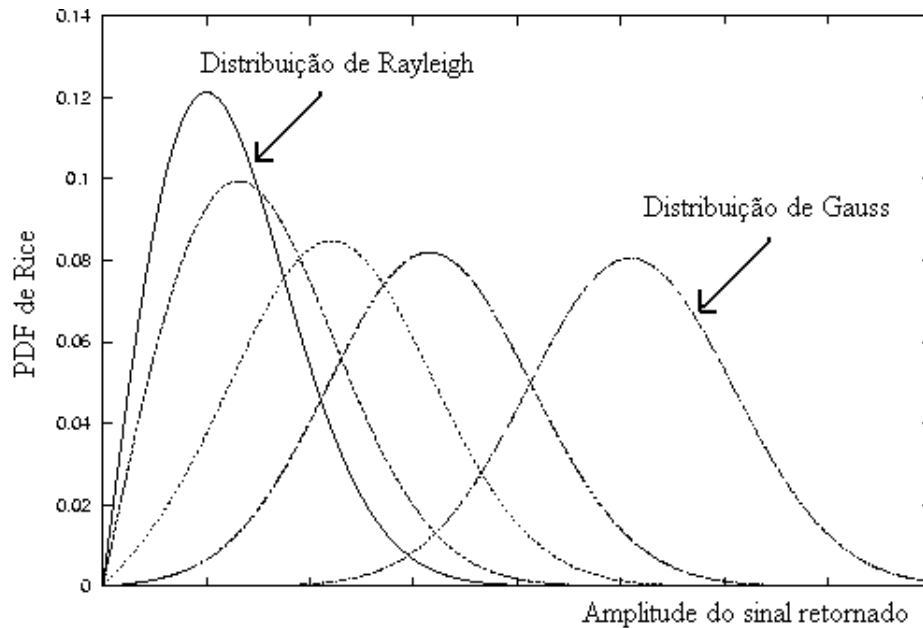



Figura 4.13 Comparação de curvas de Gauss e de Rayleigh.

3.3.11.2 A média e a variância dos valores de amplitude instantânea são quantidades dimensionais e isto implica que o sistema de sonar deve reter pelo menos as mudanças relativas das amplitudes retroespalhadas dos ecos. Quaisquer mudanças nos parâmetros de potência de transmissão ou nos ganhos de recepção podem ser levadas em conta (compensação para controlo automático de ganhos). Dados de amplitude de retroespalhamento duma faixa coberta apresentados como amplitude média são facilmente compreendidos como uma ferramenta de classificação. Uma amplitude média aproximadamente constante ao longo de uma região sugere um fundo marinho homogéneo e mudanças bruscas na amplitude média sugerem mudanças no fundo marinho. No entanto, apresentações de mudanças regionais na amplitude do sinal retroespalhado geralmente ignoram, ou tentam normalizar empiricamente, mudanças na geometria de sonorização (ângulos rasantes) ao longo da varredura.

3.3.11.3 O ajuste do PDF observado ao modelo padrão é realizado nos PDFs normalizados dos ecos, assim a amplitude média absoluta do retroespalhamento é ignorada no processo. Este método é uma tentativa de extrair o rácio entre componentes coerentes e incoerentes nos dados. Com dados de um sonar calibrado, o passo normalizado pode ser saltado e em vez disso são usadas amplitudes absolutas.

3.3.12. Dependência angular

3.3.12.1 Existe um número de modelos que predizem a dependência angular do retroespalhamento do fundo marinho baseada em vários fatores. Estes incluem o contraste de impedâncias da interface água - sedimento, a estatística da rugosidade dessa interface e quaisquer possíveis contribuições de heterogeneidades dentro das camadas de sedimento. A quantidade de interesse deste método é a intensidade do retroespalhamento por unidade de ângulo sólido (3D). Isto é obtido a partir da medição do retroespalhamento e comparação com as previsões do modelo para estimativa dos parâmetros gerados.

3.3.12.2 Sistemas de proporção elevada como o SMF fornecem medições de amplitude de retroespalhamento em ângulos rasantes que variam de 90º (vertical) a ângulos tão baixos como 15º. Isto está em contraste com a distribuição dos ângulos característica de sistemas rebocados em profundidade como o SVL, que tende a apresentar ângulos muito baixos.

3.3.12.3 Este método requer o conhecimento do percurso do raio de energia acústica quando este embate no fundo marinho e a inclinação a 3D da interface água - fundo. É atribuída uma medida instantânea da amplitude do retroespalhamento a esse ângulo. Para se chegar a uma boa estimativa da força de retroespalhamento média nesse ângulo rasante, são usadas um grande número (>10) de medições instantâneas. Obviamente assume-se que o fundo marinho sob investigação não muda ao longo da largura da cobertura do SMF (isto é, o tipo de fundo marinho é o mesmo desde o nadir até ao alcance máximo).

3.3.13. Interpretação de dados de retroespalhamento acústico

3.3.13.1 Numa primeira instância, a interpretação de uma imagem digital de varredura lateral é sempre difícil. O limite de resolução é a amostra instantânea da intensidade de retroespalhamento. Isto é derivado da soma complexa de todas as contribuições individuais das dispersões de dentro da área sonorizada e também das contribuições das dispersões no volume de sedimento abaixo da área sonorizada. Não obstante a solução derivada, existem três efeitos principais que são evidentes em qualquer mosaico de varredura lateral.

- Variações da intensidade do retroespalhamento devido à mudança no tipo de fundo marinho.

- Variações da intensidade do retroespalhamento devido a mudança na inclinação do fundo marinho.

- Sombras verdadeiras projetadas.

3.3.13.2 Para SVL convencionais as duas primeiras são ambíguas. Não há forma de dizer sem ambiguidade se as flutuações são devidas à inclinação ou à textura. Na realidade é raro ver uma mudança significativa na inclinação do fundo marinho sem ver uma mudança de textura. Em contraste com o SVL convencional, sistemas de sonar de varredura multifeixe podem resolver a ambiguidade para os casos em que o comprimento de onda da topografia é maior que o espaçamento entre os feixes, apesar da rugosidade a comprimentos de onda mais curtos não poder ser resolvida.

3.3.13.3 As sombras verdadeiras projetadas podem ser reconhecidas por ambos os sistemas desde que a razão sinal/ruído seja suficientemente grande – assim, a queda na intensidade do sinal é maior que o esperado para qualquer tipo de sedimento real. Interessantemente, os sonares de varredura multifeixe não podem predizer a presença de uma sombra apenas a partir da informação batimétrica. Isto acontece porque uma sombra implica inclinações maiores que o percurso do raio e assim os sonares de varredura multifeixe não podem ver atrás da estrutura que provoca a sombra. É importante lembrar isto quando se usa sectores angulares. Uma topografia inclinada para fora do sonar não é resolvida adequadamente e assim será distorcido o modelo de terreno que for derivado. Mesmo com sonares de varredura multifeixe, frequentemente não é claro se as variações de pequeno comprimento de onda no retroespalhamento do fundo marinho são resultado de um dos efeitos acima descritos. A única forma de resolver isto é visualizar o fundo marinho a partir de múltiplas direções quase ortogonais.

3.3.13.4 O hidrógrafo está preocupado em primeiro lugar em verificar potenciais perigos para a navegação no fundo do mar. Qualquer confirmação ou negação da validade de uma sonda anómala representa uma ajuda na interpretação dos dados. Por último, isto permitirá uma maior confiança na qualidade dos dados de sondagem que aparecem na carta de navegação. Como já vimos existem limitações de resolução para a imagem de SMF de alta velocidade, o que significa que não se pode resolver sempre as anomalias hidrográficas discretas que são de interesse. Isto leva à discussão de lançar o SVL convencional, rebocado em conjunção com um sistema de sonar de varredura multifeixe.

3.3.13.5 Quando o feixe alcança o fundo do mar uma parte do feixe é refletido para trás sob a forma de um eco, mas a maior parte da energia é dispersa em todas as direções, e alguma é absorvida pelo fundo marinho. O caso da incidência vertical está relacionado principalmente com as propriedades de reflexão do fundo marinho, e mais uma vez, a quantidade de sinal que é refletido depende das diferentes características do feixe do sondador. A frequência do sinal é um dos atributos mais importantes. O caso do SMF é mais complicado, e aqui as propriedades de dispersão do fundo marinho assumem uma maior importância.

3.3.13.6 Retornos de um fundo liso e duro. À medida que a onda sonora viaja através da água, move-se deslocando as partículas da água, fazendo com que estas vibrem e permitam a passagem da onda. A água tem uma impedância acústica baixa, ou uma baixa resistência ao movimento da onda. Quando a onda alcança o fundo marinho é impedida de continuar porque este tem uma elevada impedância acústica. As partículas estão densamente empacotadas e não se podem mover facilmente. Uma vez que a energia total deve ser mantida e que a energia não pode passar para o fundo marinho sob a forma de uma onda sonora, deve ir para qualquer lado e o resultado é a radiação para trás, para a água. Alguma parte, provavelmente uma percentagem pequena, será refletida para trás na direção da onda incidente e viajará de volta para ser recebida pelo transdutor de sonar como um eco.

3.3.13.7 Efeito de diferentes tipos de fundo marinho e de diferentes ângulos de incidência. Diferentes tipos de fundo marinho terão diferentes níveis de impedância acústica. Se o nível é baixo então alguma parte da energia sonora é absorvida pelo fundo marinho e o eco que retorna será mais fraco. Se o nível é alto então mais energia é refletida. Similarmente, a intensidade do sinal refletido depende também do ângulo de incidência. Se o ângulo é baixo, aproximando-se da normal, então a maior parte do som é refletida de volta para o sonar. Se o ângulo é elevado então a maior parte da onda sonora é dispersa numa direção para longe do transdutor, no entanto uma parte retornará como um eco fraco.

3.3.13.8 O tipo de fundo marinho também terá um efeito no sinal retornado. A relação entre o ângulo de incidência, o tipo de fundo marinho e o nível de sinal retornado, não é direta. Para o feixe que chega com um baixo ângulo rasante: se o fundo marinho for rugoso então haverá mais faces próximo da normal à onda sonora e portanto a reflexão será mais forte, se o fundo marinho for liso isto resultará geralmente na maior dispersão do sinal noutras direções que não para trás, na direção do receptor de sonar. No entanto, é provável que a situação se inverta para um ângulo rasante alto, e um fundo liso pode dar um melhor retorno. Tal dependerá no entanto de um número de fatores como a dimensão/tamanho da partícula e a composição do fundo marinho.

3.3.14. Modelos de classificação militares

3.3.14.1 Na preparação de um modelo de classificação militar (ou de textura) a partir dos registos de sonar a primeira tarefa para o hidrógrafo é decidir se a textura do fundo marinho é de lodo, areia, cascalho ou rocha. É reconhecido que o fundo marinho contém uma grande variedade de combinações das quatro categorias básicas, mas uma análise mais detalhada é melhor conseguida com descrições escritas. Os limites claramente definidos entre diferentes tipos de fundo marinho devem ser mostrados como linhas contínuas e os limites indefinidos devem ser representados como linhas tracejadas. A Figura 4.14 ilustra um exemplo de um modelo de classificação militar.

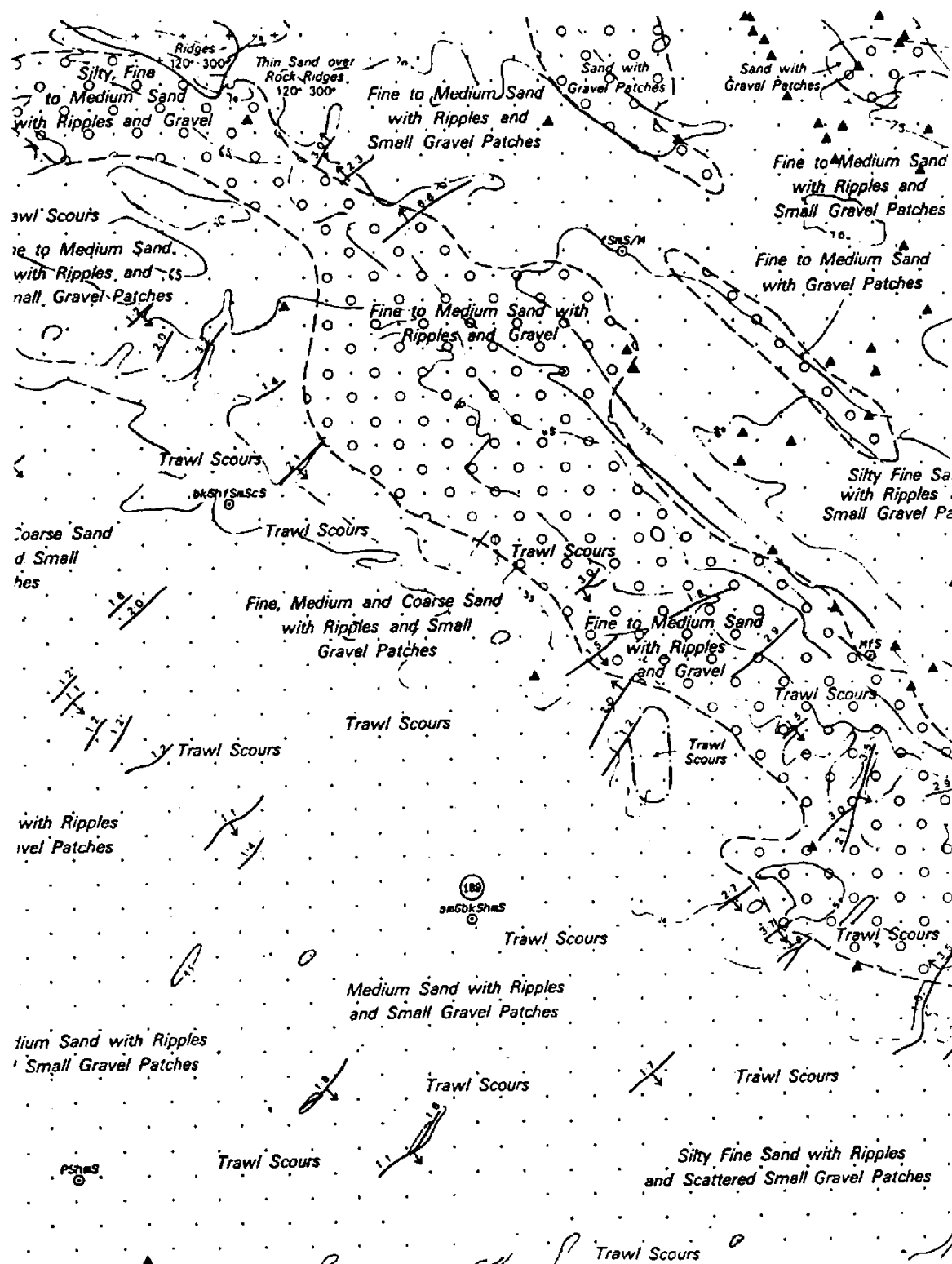



Figura 4.14 Exemplo de modelo militar de classificação textural.

3.3.14.2A representação gráfica da textura do fundo marinho deve ser ampliada através do uso de descrições escritas. Seguem-se exemplos de termos a serem usados, em conjunto com as suas definições. É enfatizado que estes exemplos não são exaustivos, outras palavras podem ser utilizadas desde que o significado seja claro para todos aqueles que possam usar a informação. Descrições de ausência de estruturas (por exemplo, areia plana sem

acidentes) são tão úteis como a informação sobre estruturas proeminentes. As descrições escritas devem ser breves.

3.3.14.3 Estruturas como destroços, ondas de areia, marcas de arrasto e condutas formam também uma parte importante da descrição do fundo marinho. A representação destas estruturas é invariavelmente mais importante que as descrições escritas e a sua inclusão deve ser prioritária em áreas congestionadas.

3.3.14.4 As ondas de areia são uma estrutura comum da topografia do fundo marinho e podem ocorrer quer isoladamente quer em campos. São usados diferentes símbolos para cada tipo:

- Ondas de areia isoladas. Para assegurar a exatidão, deve ser traçada a posição da crista da onda a partir do perfil de batimetria e não do registo de sonar. O símbolo para uma onda de areia isolada é então posicionado ao longo da linha que representa a crista. Se a onda é assimétrica, uma pequena seta é inserida apontando para o lado mais inclinado da estrutura, a seta deve ser omitida se a onda de areia é simétrica. Devem ser incluídos detalhes da altura da crista acima da cava.

- Campos de ondas de areia. Muitas ondas de areia ocorrem em grupos com altura e orientação semelhantes. Nestas condições, ondas individuais não necessitam de ser traçadas. A extensão do campo deve ser delineada, socorrendo-se mais uma vez da batimetria para maior exatidão e deve ser inserido o símbolo para um campo de ondas de areia. A orientação das cristas deve ser indicada, tal como o comprimento de onda, altura, simetria e indicação do lado mais inclinado.

3.3.14.5 Para propósitos de implantação na prancheta, uma onda de areia é definida como tendo uma altura superior a um metro. Estruturas mais pequenas devem ser classificadas como enrugamentos (*ripples*). O comprimento de onda é definido como a distância entre duas cristas adjacentes; a altura é a diferença de profundidade entre uma crista e a cava adjacente. Como regra empírica as cristas que se traçam mais perto que um centímetro no papel e que são semelhantes em orientação, altura e comprimento de onda, devem ser consideradas como um campo. Os *ripples* estão muitas vezes sobrepostos nas ondas de areia e podem ter uma orientação diferente e devem ser colocadas breves descrições escritas como “*Ripples 120/300*” ao lado do símbolo de onda de areia.

3.3.14.6 Pequenos contactos no fundo marinho. Devem ser assinalados todos os contactos não efémeros de dimensão superior a um metro. Quando existirem mais que cinco contactos por centímetro quadrado a área deve ser delineada e feita uma anotação. O número de contactos em cada área deve ser assinalado sempre que possível, e quando for útil devem ser incluídas descrições escritas.

3.3.14.7 Destroços e obstruções. Todos os destroços e obstruções localizados durante o levantamento devem ser incluídos no modelo de classificação. Os destroços devem ser assinalados com o símbolo de destroço não perigoso, orientado na mesma direção. Deve ser assinalada a extensão e direção de qualquer sulco, por exemplo “*Scour 155/50m*”. Outras obstruções devem ser assinaladas recorrendo ao símbolo de detritos “*foul*”, com uma descrição escrita quando possível, por exemplo, “*wellhead*”.

3.3.14.8 Pequenas depressões. Certas áreas do fundo marinho podem conter pequenas depressões, distinguíveis no registo de sonar pela sombra à frente do contacto. Algumas podem mostrar um lábio pronunciado e incluir marcas circulares (*pockmarks*). A não ser que a sua origem seja conhecida (por exemplo se uma torre de perfuração de petróleo é movimentada durante um levantamento) não se deve tentar classificá-las.

3.3.14.9Marcas de arrasto. Em muitas áreas as marcas de arrasto são frequentes e constituem uma parte característica do fundo marinho. A sua importância é acrescida pelo fato de que são encontradas geralmente em áreas planas. As marcas de arrasto isoladas devem ser assinaladas individualmente; quando ocorrem em concentrações pode-se delinear a área e inserir a legenda: “numerosas marcas de arrasto”.

3.3.14.10 Condutas. Todas as condutas detectadas durante um levantamento devem ser marcadas. Não deve haver interpolação em áreas em que os tubos estejam enterrados a não ser que sejam visíveis no registo de SVL, neste caso a legenda “enterrado” deve ser inserida. Tubos que sobressaiam do fundo marinho devem ter a sua altura, em metros, assinalada em intervalos regulares.

3.3.14.11 Contornos de profundidade. Devem ser incluídas linhas de contorno com o intervalo vertical de 5 m. Em áreas onde ocorra uma grande variação de profundidades isto pode ser expandido à consideração do hidrógrafo, desde que a forma de apresentação da textura seja mantida. O propósito de se desenhar contornos de profundidade é apoiar o hidrógrafo na sua interpretação da sonografia.

3.3.14.12 Descrições para uso em modelos militares de classificação do fundo marinho:

Ondas de areia. Cristas de areia, direitas ou sinuosas, geralmente alinhadas transversalmente à corrente. A altura mínima é um metro. A separação das cristas (comprimento de onda) pode ser até 1 000 m com alturas que atingem os 20 m. Podem ser simétricas ou assimétricas, e podem ter *ripples*.

Ripples. Pequenas ondas de areia, com formas semelhantes às ondas de areia mas com altura inferior a um metro. Habitualmente estão orientadas transversalmente à direção da corrente ou corrente de maré, com um comprimento de onda inferior a 15 m. Podem não ser detectáveis com um sondador.

Sulcos. Formas de fundo longitudinais em cascalho, areia ou lodo, algumas das quais podem ter 9 km de comprimento e 14 m de largura. Podem aparecer individualmente, mas é mais usual ocorrer em grupos. São geralmente paralelas às correntes prevalecentes.

Dunas em crescente. Normalmente aparentam sobrepor-se a um fundo marinho mais grosseiro. A maior parte é direita e paralela às correntes. Podem ter até 15 km de comprimento, 200 m de largura e têm geralmente apenas alguns centímetros de espessura. Tipicamente têm uma aparência em escada devido à presença de *ripples*.

Retalhos de cascalho/lodo/areia. Pequenos retalhos espalhados de cascalho, areia e lodo com menos de 100 m de largo e geralmente com menos de 2 m de espessura. Podem ser deposicionais e sujeitos a movimento. A forma pode ser determinada pelo relevo do fundo marinho subjacente.

Afloramento rochoso. Um retalho/mancha de rocha cobrindo uma pequena área. Refere-se a um grupo coesivo, não a um conjunto de blocos.

Pináculo. Uma rocha com extensão horizontal limitada com altura consideravelmente maior que as rochas circundantes.

Costeira. Afloramento rochoso com comprimento superior a 300 m e relativamente estreito em comparação. Geralmente encontrado em grupos, com direção e extensão semelhante.

Banco. Usualmente de areia ou cascalho, mas pode ser de rocha. Uma elevação do fundo marinho sobre uma área relativamente pequena, mas consideravelmente proeminente em relação aos arredores. Quando formado por sedimento está geralmente orientado ao longo da corrente de maré.

Grande/pequeno. Preferido a alto/baixo.

Largo/estreito. Usado para exprimir largura quando se qualifica estruturas como dunas em crescente. Largo só deve ser usado para crescentes com mais de 150 m de largura e estreito para menos de 10 m.

Liso. Preferido a plano ou nivelado, e pode-se referir a um fundo que tanto é horizontal como inclinado. Geralmente refere-se apenas a lodo.

Plano. Deve ser usado só para descrever superfícies niveladas (isto é, sem gradiente significativo).

Inclinado. Refere-se a qualquer área onde há uma tendência geral na profundidade do fundo marinho, isto é, um gradiente. Um fundo marinho inclinado pode ser liso mas não pode ser plano.

Suave. Mudança gradual.

Regular. Usado para qualificar uma série de estruturas que são uniformes em amplitude e comprimento de onda, isto é ondas de areia, cristas.

Irregular. Usado para qualificar estruturas que não são uniformes mas que têm uma entidade específica. Por exemplo, ondas de areia. Pode também ser usado para descrever uma área de rocha onde nenhuma estrutura regular é evidente.

Proeminente. Usado para descrever uma estrutura ou uma série de estruturas que são conspícuas em relação à área circundante.

Não acidentado. Aplicado normalmente a um fundo marinho plano ou liso, sem acidentes (estruturas ou objetos) ao longo de uma extensão considerável.

Os símbolos para utilização em modelos militares de classificação do fundo marinho estão presentes na Figura 4.15.

← Afloramento rochoso

← Cascalho

← Areia

← Lodo

← Limite textural bem definido

← Limite textural mal definido

← Crista de onda de areia com altura em metros (da cava à crista), a seta mostra a direção do lado mais inclinado.

← Campo de ondas de areia (com altura, orientação, comprimento de onda e simetria; A = assimétricas; S = simétricas)

← Marca de arrasto proeminente

← Área com marcas de arrasto concentradas

← Contacto de sonar significativo

← Porção de fundo marinho muito refletivo sem altura ou extensão significativa

← Marca circular indicadora da libertação de gás (“*pockmark*”)

← Posição da amostra com descrição abreviada e número de identificação se existente

← Destroço, orientado como na realidade, com direção e extensão do sulco

← Detritos ou obstrução (com classificação se aplicável)

← Poço submerso

← Conduta

← Contorno do fundo com 5 m de intervalo vertical

Fig. 4.15 Símbolos para utilização em modelos militares de classificação do fundo marinho.

REFERENCES

1987	*"The Use of Side Scan Sonar for Hydrographic Surveying and the Gathering of Bottom Texture Information"*	UK Hydrographic Department Professional Paper No. 24
1990	*"Sound Underwater Images" – A Guide to the Generation and Interpretation of Side Scan Sonar Data.*	Fish JP & Carr HA
1994	*"High Frequency Ocean Environmental Acoustic Models Handbook"*	Washington University Seattle Applied Physics Lab
1997	*"Admiralty Manual of Hydrographic Surveying"*	UK Hydrographic Office
1998	*"Side Scan Versus MBES Object Detection - A Comparative Analysis"*	Brissette MB & Hughes Clarke JE
2001	*"LEEUWIN Class Operating System"*	Australian Hydrographic Service
2004	*"Hydrographic Quality Assurance Instructions for Admiralty Surveys"*	UK Hydrographic Office

CAPÍTULO 5 - NÍVEIS DE ÁGUA E ESCOAMENTOS

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é fornecer ao hidrógrafo e ao leitor técnico informação fundamental e necessária para compreender e aplicar níveis de água, *Data* e produtos originados a partir de níveis de água e dados de correntes, de modo a desenvolver operações no campo de suporte a levantamentos hidrográficos e outras atividades diretamente relacionadas com a cartografia. Usualmente, o hidrógrafo está preocupado não apenas com a elevação da superfície do mar, que é afetada de forma significativa pelas marés, mas também com a elevação da superfície livre de lagos e rios, onde o fenómeno das marés pode ter efeitos reduzidos. Apesar do termo "nível de água" ser mais correto tecnicamente, o termo "maré" é tradicionalmente aceite e amplamente utilizado por hidrógrafos dado que efetua a ligação com a instrumentação utilizada para medir a elevação da superfície da água. De um modo semelhante, o termo "corrente" é aceite em muitas áreas no que diz respeito a correntes de maré; contudo, as correntes de água são afetadas por muitos outros fenómenos para além as forças geradoras de maré. O termo "escoamento" ou "fluxo" pode então ser utilizado em vez de "correntes".

As forças de maré têm um papel muito importante nos levantamentos hidrográficos, porém as forças geradoras de maré e as variações fundamentais da maré são apenas descritas, neste capítulo, de uma forma geral mas apontando para referências técnicas apropriadas. É importante o hidrógrafo perceber porque é que as características da maré, níveis de água e correntes variam no domínio do tempo e espaço, razão pela qual estas são consideradas no planeamento de levantamentos e operações que irão dar origem à produção bem sucedida de cartas e levantamentos exatos.

Dado que as abordagens e procedimentos para medir e aplicar níveis de água, marés e correntes variam consoante o país, este capítulo refere os princípios gerais, utilizando para isso exemplos documentados sempre que apropriado.

2. MARÉS E NÍVEIS DE ÁGUA

2.1. Princípios de Marés e Níveis de Água

As marés observadas num determinado porto são o resultado de muitos fatores, entre os quais se inclui a resposta da bacia oceânica às forças geradoras de maré, às modificações da maré devido ao efeito de águas pouco profundas de baías e rios locais, e aos efeitos regionais e locais da meteorologia nos níveis de água.

2.1.1. Forças Astronómicas Geradoras de Maré

Na superfície da Terra, a atração gravítica da Terra atua na direção do seu centro de massa confinando as águas oceânicas à sua superfície. No entanto, as forças gravíticas da Lua e do Sol e a força centrífuga do sistema Sol/Terra/Lua atuam externamente sobre as águas oceânicas da Terra. Estas forças externas atuam como forças geradoras ou forças de tração. Os seus efeitos sobrepõem-se à força gravítica da Terra e atuam de modo a atrair as águas oceânicas horizontalmente para vários pontos à superfície da Terra.

Uma preia-mar é produzida nas águas oceânicas através da ação de empilhamento, resultante do escoamento horizontal de água em direção à região de máxima atração do efeito combinado das forças gravíticas lunares e Solares. Uma preia-mar adicional é produzida na posição oposta da Terra, onde a força centrífuga do sistema em órbita se sobrepõe à atração gravítica do Sol e da Lua. As baixa-mares são originadas por uma remoção da água das regiões na Terra a meio

caminho entre os dois bojos de maré. A alternância entre preia-mar e baixa-mar acontece devido à rotação diária (ou diurna) do corpo sólido da Terra em relação a estes dois bojos de maré e à depressão de maré. A variação dos tempos de chegada de quaisquer duas preia-mares ou baixa-mares sucessivas num dado local é o resultado de vários fatores. As forças geradoras de maré fundamentais têm duas componentes devido ao Sol (solar) e à Lua (lunar).

2.1.1.1. Origem das Forças Geradoras da Maré

Um observador na Terra tem a sensação que a Lua tem um movimento de rotação em torno da Terra, mas na realidade são a Lua e a Terra que têm um movimento de rotação em torno do seu centro de massa comum, conhecido como *baricentro*. Os dois corpos astronómicos tendem a ser puxados um para o outro através da atração gravítica e simultaneamente tendem a afastar-se devido à força centrífuga produzida à medida que se deslocam em torno do baricentro. A atração gravítica e a força centrífuga têm a mesma intensidade e direções opostas; portanto, a Terra e a Lua não são nem puxadas uma de encontro à outra nem separadas uma da outra da posição original. Existe um efeito semelhante para o sistema Terra/Sol mas é separado e distinto do mesmo efeito relativamente ao sistema Terra/Lua (daí as componentes lunar e solar).

Estas forças gravíticas e centrífugas são apenas equilibradas nos centros de massa dos corpos individuais. Em locais por cima, dentro ou à superfície dos corpos, as duas forças não estão em equilíbrio, originando marés nos oceanos, atmosfera e litosfera. No lado da Terra virado para a Lua ou Sol, uma força resultante (ou *diferencial*) geradora de maré atua na direção da atração gravítica da Lua ou do Sol ou seja na direção da Lua ou do Sol. No lado da Terra diretamente oposto à Lua ou ao Sol, a força geradora de maré resultante atua na direção da maior força centrífuga ou seja na direção oposta à Lua ou Sol.

2.1.1.2. Força Centrífuga

O baricentro do sistema Terra/Lua encontra-se num ponto aproximadamente 1700 km abaixo da superfície da Terra, no lado de frente para a Lua, e ao longo de uma linha que liga os centros de massa da Terra e da Lua (Figura 5.1). O centro de massa da Terra descreve uma órbita (E_1, E_2, E_3...) em torno do baricentro (G), tal como o centro de massa da Lua descreve a sua órbita mensal (M_1, M_2, M_3...) em torno deste mesmo ponto.

À medida que a Terra se desloca em torno do baricentro, a força centrífuga produzida no centro de massa da Terra está direcionada para fora do baricentro, do mesmo modo que um objeto preso por um fio, e que se pode fazer rodar por cima da nossa cabeça, exerce um puxão na mão que segura o fio. Devido ao fato do centro de massa da Terra estar no lado oposto do baricentro relativamente à Lua, a força centrífuga produzida no centro de massa da Terra está direcionada para o lado oposto ao da Lua. Todos os pontos dentro ou na superfície da Terra sentem a mesma intensidade e direção desta força centrífuga. Este fato é indicado pela direção e comprimento das setas que representam a força centrífuga (F_c) nos pontos A, B e C na Figura 5.1 e pelas setas finas nestes mesmos pontos na Figura 5.2. De um modo semelhante, o baricentro do sistema Terra/Sol encontra-se num ponto dentro do Sol uma vez que este astro tem uma massa muito maior que a da Terra; porém aplica-se a mesma teoria.

É importante notar que a força centrífuga produzida pela rotação diária da Terra no seu próprio eixo não tem consequência alguma para a teoria de marés. Este elemento não tem papel algum na criação das forças diferenciais geradoras de maré dado que a força em qualquer local particular permanece constante com o tempo, de modo que a superfície da água está sempre em equilíbrio em relação a esta.

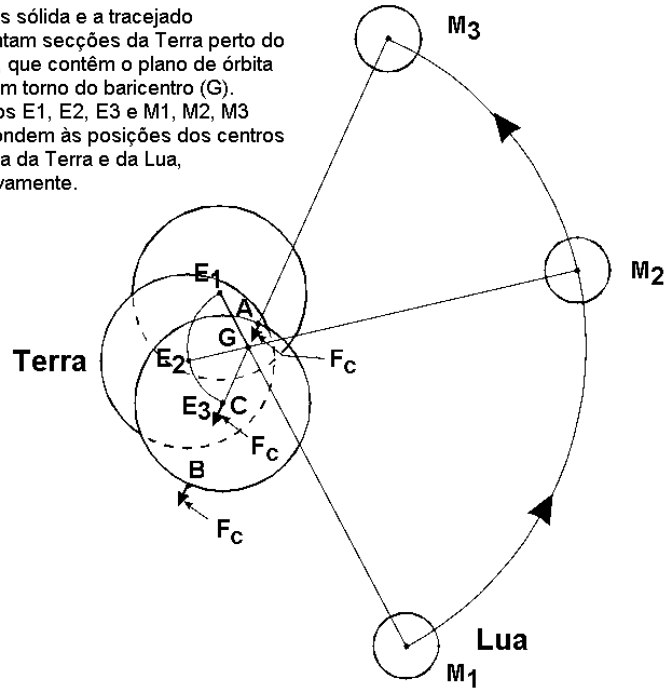



Figura 5.1

Tipo de força	Designação
Fc = força centrífuga devido ao movimento de on rotação da Terra em torno do baricentro	seta fina
Fg = força gravítica devida à Lua	seta grossa
Ft = força geradora de maré resultante devida à Lua	seta dupla

	Magnitude relativa das forças presentes
A	$F_g > F_c > F_t$
	$\vee \quad = \quad \vee$
C	$F_g = F_c > 0$
	$\vee \quad = \quad \wedge$
B	$F_g < F_c > F_t$

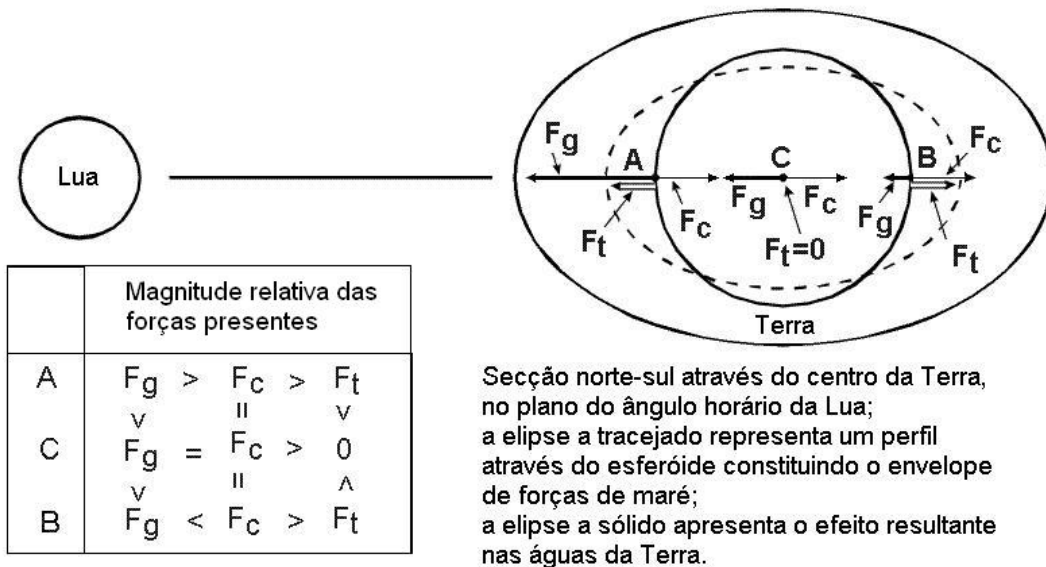



Figura 5.2

2.1.1.3. Força Gravítica

Enquanto o efeito da força centrífuga externa é constante em todos os pontos na Terra, o efeito da força de atração gravítica produzida por outro corpo astronómico varia de local para local. Isto deve-se à intensidade da força gravítica exercida variar com a distância ao corpo atraente. Portanto, na teoria das marés, outra variável de influência é introduzida, baseada nas diferentes distâncias dos vários pontos à superfície da Terra a partir do centro de massa da Lua. A atração gravítica relativa produzida pela Lua em várias posições na Terra está representada na Figura 5.2 pelas setas indicadas com F_g que são mais grossas do que aquelas que representam as componentes da força centrífuga F_c.

Analogamente ao fato de a própria força centrífuga da Terra não ter nenhum papel na produção de marés, os efeitos da própria força gravítica da Terra não têm um papel direto na origem das marés. Mais uma vez, isto é devido à força gravítica da Terra em qualquer local permanecer constante com o tempo.

2.1.1.4. Forças Diferenciais Geradoras de Maré

A força centrífuga que atua no centro da Terra como resultado da rotação desta em torno do baricentro é igual e de direção oposta à força gravítica exercida pela Lua no centro da Terra. Este fenómeno encontra-se indicado no ponto C na Figura 5.2 pelas setas finas e grossas de igual comprimento e que apontam em direções opostas. O resultado desta situação é que a força geradora de maré (F_t) é nula no centro de massa da Terra.

O *ponto sublunar*, ponto A na Figura 5.2, está aproximadamente 6400 km mais perto da Lua do que o ponto C. Aqui, a força produzida pela atração gravítica da Lua é maior que a força gravítica em C devido à Lua; dado que a força centrífuga é, em todo o lado, igual e de direção oposta à atração da Lua no centro de massa da Terra, a atração gravítica maior no ponto A sobrepõe-se à força centrífuga, originando uma força resultante na direção da Lua. O resultado pode ser observando na Figura 5.2 através da seta dupla. A maré resultante produzida no lado da Terra na direção da Lua é conhecida como *maré direta*.

No lado oposto da Terra, o *ponto antipodal*, ponto B, está cerca de 6400 km mais afastado da Lua que o ponto C e a força gravítica da Lua é menor que em C; uma vez que a força centrífuga no ponto B é maior do que a atração gravítica da Lua no ponto C, a força geradora de maré resultante neste ponto encontra-se direcionada para fora do centro da Terra. Esta força encontra-se indicada pela seta dupla no ponto B. A maré produzida no ponto antipodal é conhecida como *maré oposta*.

Existe também um esquema semelhante de forças diferenciais para o sistema Terra/Sol.

2.1.1.5. Força de Tração

As forças geradoras de maré têm apenas uma nona-milionésima parte da magnitude da atração gravítica da Terra. Portanto, as forças geradoras de maré são insuficientes para, de um modo perceptível, erguer a água, contrariando a atração da gravidade da Terra. Em vez disso, as marés são geradas pela componente horizontal das forças geradoras de maré. Em qualquer ponto na superfície da Terra, a força geradora de maré pode ser decomposta em 2 componentes - uma vertical, ou perpendicular à superfície da Terra, e outra horizontal, ou tangencial à superfície da Terra; dado que a componente horizontal não é contrariada de modo algum pela gravidade, pode atuar de modo a arrastar as partículas de água livremente sobre a superfície da Terra e em direção aos pontos sublunar e antipodal.

A componente horizontal, conhecida como a componente de tração (“com a ação de arrastar”) da força, é o mecanismo que realmente produz as marés. A força de tração é nula nos pontos sublunar e antipodal, dado que a força geradora de maré é inteiramente vertical nestes pontos; assim, não existe nenhuma componente horizontal. Qualquer porção de água acumulada nestes locais, devido ao escoamento de tração de outros pontos à superfície da Terra, tende a permanecer

numa configuração estável, ou *bojo* de maré. Portanto, existe uma tendência constante para a água ser arrastada de outros pontos na superfície da Terra em direção ao ponto sublunar (A na Figura 5.2) e ao seu ponto antipodal (B na Figura 5.2), empilhando-se nestes pontos formando dois bojos de maré. Sendo um caso especial da Lei da Gravitação Universal de Newton, a força geradora de maré varia inversamente com o cubo da distância do centro de massa do corpo atraente a um dado ponto à superfície da Terra.

Dentro de uma banda à volta da Terra aproximadamente a meio caminho entre o ponto sublunar e o ponto antipodal, a força de tração é também nula uma vez que a força geradora de maré está direcionada verticalmente. Existe, assim, a tendência para a formação de uma depressão estável nessa região.

2.1.1.6. A Envolvente da Força de Maré

Se as águas dos oceanos respondessem exclusivamente às forças de tração e a Terra estivesse totalmente coberta por água sem os continentes, a superfície de água teria a forma aproximada de um esferóide alongado. O eixo maior do esferóide coincidiria com a linha que une os centros de massa da Terra e da Lua, o eixo menor estaria em ângulo reto com o eixo maior e centrado neste. As duas elevações e a depressão de maré estão representadas neste envolvente de forças pelas direções do eixo maior e eixo menor do esferóide, respectivamente. De um ponto de vista puramente teórico, a rotação diária da Terra em relação a estes dois bojos de maré e à depressão, pode ser encarada como a causa das marés lunares. Em relação ao Sol, os bojos e as depressões resultantes podem ser considerados a causa das marés solares.

À medida que a Terra roda, idealmente esperava-se encontrar num mesmo local uma preia-mar seguida de uma baixa-mar 6 horas depois; mais tarde seguida de uma segunda preia-mar ao fim de 12 horas e assim sucessivamente. Este seria quase o caso se: fosse considerada uma Terra sem continentes nem atrito, coberta por uma camada de água de profundidade uniforme; se fosse considerado unicamente o envolvente de forças de maré da Lua, e a posição da Lua fosse fixa e invariável em distância e em orientação relativamente à Terra e ao Sol; e se não existissem outras influências que provocassem aceleração ou atraso nos movimentos das águas na Terra. Contudo, este cenário está longe de ser real.

Primeiramente, o envolvente de forças de maré produzido pelo efeito da Lua é acompanhado de, e interage com, o envolvente de forças de maré produzido pelo Sol. A força de maré produzida pelo Sol é o conjunto da atração gravítica do Sol e a força centrífuga criada pela rotação da Terra em torno do centro de massa do sistema Terra/Sol. A posição deste envolvente de forças varia com a posição orbital relativa da Terra em relação ao Sol. Devido à grande diferença entre as distâncias médias da Lua e do Sol relativamente à Terra (384 400 km e 150 000 000 km, respectivamente), a força geradora de maré da Lua é aproximadamente 2,5 vezes a do Sol, apesar de o Sol ter uma massa muito maior que a Lua.

Em segundo lugar, existe um grande número de variáveis astronómicas na produção de marés. Algumas destas representam: as distâncias variáveis da Lua à Terra e da Terra ao Sol, o ângulo que a órbita da Lua faz com o equador terrestre, o ângulo em que o Sol aparece na órbita anual da Terra em torno do Sol e as relações de fase variáveis da Lua em relação ao Sol e à Terra. Alguns dos principais tipos de marés resultantes destas influências puramente astronómicas encontram-se descritos abaixo.

Em terceiro lugar, outros efeitos entram em jogo, fazendo com que o nível da água seja diferente da maré produzida por efeitos astronómicos. Estes incluem as restrições ao escoamento induzidas pelos continentes e efeitos meteorológicos, entre outros.

2.1.2. Características da Maré

As características reais da maré em locais ao longo da Terra diferem significativamente do idealizado envolvente de marés discutido anteriormente. Em primeiro lugar, a água é um fluído

com viscosidade, o que provoca um desfasamento na sua resposta às forças geradoras de maré. Também, a Terra não é uma esfera lisa coberta por uma camada de água profunda e uniforme e que cobre a sua superfície por completo. Os movimentos da maré são afetados pelo atrito com o fundo oceânico e com outras correntes oceânicas; os continentes interrompem, restringem e refletem os movimentos da maré; a forma e tamanho das bacias oceânicas acentuam ou diminuem várias componentes das forças geradoras de maré.

A subida e descida das marés não ocorre a uma taxa uniforme. A partir da baixa-mar, a maré começa a subir muito lentamente no início, mas a uma velocidade sempre crescente durante cerca de 3 horas quando a taxa de aumento está no seu máximo. A maré continua a subir durante cerca de mais 3 horas, mas a uma velocidade sempre decrescente até atingir a preia-mar. A maré vazante segue um padrão semelhante de aumento e depois decréscimo da taxa. Quando a subida e descida da maré são representadas graficamente, verifica-se que se aproxima da forma de uma curva sinusoidal. Contudo, em qualquer local, à subida e descida da maré, e consequentemente à forma da curva, estão associadas uma variedade de características. Estas características variam consideravelmente de local para local. Destas características, podem-se considerar três que constituem as principais características da maré. Estas são o **tempo da maré**, a **amplitude da maré** e o **tipo de maré**. O hidrógrafo tem que compreender e considerar cada uma destas três características, de modo a calcular e aplicar as reduções de maré nas sondagens.

2.1.2.1. O Tempo da Maré

Uma Lua estacionária parece atravessar o meridiano de um determinado local uma vez por dia, mas dado que a Lua roda em torno da Terra na mesma direção em que a Terra está a rodar, qualquer ponto na Terra roda aproximadamente 12.5º extra em cada dia de modo a acompanhar a Lua. Estes 12,5º requerem cerca de 50 minutos, resultando num "dia lunar" de 24 horas e 50 minutos.

O tempo da maré refere-se ao tempo de ocorrência da preia-mar ou baixa-mar em relação à passagem meridiana da Lua. Esta característica da maré, num determinado local, é descrita pelos *intervalos lunitidais* de preia-mar e baixa-mar. O intervalo lunitidal é o tempo decorrido entre a passagem meridiana da Lua e a preia-mar ou baixa-mar. Este não é constante ao longo de um dado meridiano. Este intervalo varia devido à interrupção da propagação da onda de maré pelos continentes e pela resistência do fundo oceânico, à medida que a onda se propaga para águas pouco profundas.

Mesmo num determinado local, os intervalos lunitidais não são constantes, mas variam periodicamente dentro de limites relativamente pequenos. Esta pequena variação resulta da interação entre as forças de maré da Lua e do Sol. Entre a Lua Nova e o Quarto Crescente, e entre a Lua Cheia e o Quarto Minguante, esta interação pode originar uma aceleração nos tempos de chegada da maré. Entre o Quarto Crescente e a Lua Cheia, e entre o Quarto Minguante e a Lua Nova, esta interação pode resultar num atraso da chegada da maré.

Os intervalos lunitidais são definidos quer em termos da passagem meridiana da Lua por Greenwich, quer pela passagem meridiana da Lua sobre a longitude local. São conhecidos, respectivamente, como o intervalo lunitidal de Greenwich e o intervalo lunitidal local. Os intervalos de Greenwich são mais úteis na medida em que podem ser utilizados para comparar os tempos da maré num local com os de outro local. O tempo da maré é importante na análise e previsão de marés e na determinação de correções para cada zona de marés.

2.1.2.2. A Amplitude da Maré

A diferença em altura entre preia-mares e baixa-mares consecutivas que ocorrem num determinado local é conhecida como amplitude. No oceano aberto, a altura da crista da onda de maré é relativamente pequena (geralmente 1 m ou menos) e uniforme. Apenas quando as cristas e cavas da maré se movem para águas pouco profundas, contra os continentes, e para canais confinados, é que são visíveis elevadas amplitudes de maré e variações notórias na mesma.

A amplitude de maré num determinado local não é constante, mas varia de dia para dia. Parte desta variação é provocada pelos efeitos do vento e da meteorologia, mas maioritariamente é um fenómeno periódico relacionado com as posições do Sol e da Lua relativamente à Terra. Nesta variação diária, a maré responde a três variações, cada uma associada com um movimento particular da Lua.

Efeitos da Fase da Lua: Marés vivas e Marés Mortas – Na grande maioria dos locais, a fase da Lua é a que mais afeta a amplitude de maré. Constatou-se que as marés são originadas através do efeito combinado de forças de tração geradas pelo Sol e pela Lua; devido à constante variação da posição da Lua, relativamente à Terra e ao Sol (Figura 5.3) durante o seu ciclo mensal de fases, as forças de tração geradas pela Lua e pelo Sol atuam ao longo de uma linha comum ou em ângulos que variam relativamente um ao outro.

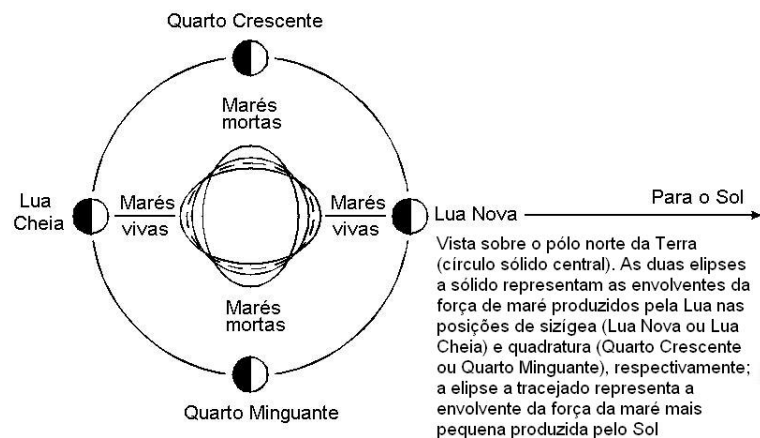



Figura 5.3

Quando a Lua se encontra na posição de Lua Nova ou Lua Cheia (ambas as posições denominadas de *sizígea*), as atrações gravíticas da Lua e do Sol reforçam-se. Como a força de maré resultante ou combinada também aumenta, as preia-mares são maiores que a média e as baixa-mares são menores que a média. Isto significa que a amplitude de maré é maior em todos os locais que apresentam uma preia-mar e uma baixa-mar consecutivas. Estas marés superiores à média, que ocorrem nas posições de sizígea da Lua, são conhecidas como *marés vivas*.

Nas posições de Quarto Crescente e Quarto Minguante da Lua (*quadratura*), as atrações gravíticas da Lua e do Sol sobre as águas da Terra atuam em ângulos retos. Cada força tende, em parte, a contrariar a outra. Na envolvente de forças da maré que representa estas forças combinadas, os valores máximos e mínimos da força são menores. As preia-mares são inferiores à média e as baixa-mares são superiores à média. Tais marés de amplitude mais reduzida são denominadas de *marés mortas*.

Efeitos de Paralaxe (Sol e Lua) – Dado que a Lua tem uma trajetória elíptica (Figura 5.4), a distância entre a Terra e a Lua varia ao longo de um mês em cerca de 50 000 km. A atração gravítica da Lua nas águas da Terra é inversamente proporcional ao cubo da distância entre a Terra e a Lua, de acordo com a Lei da Gravitação Universal de Newton já mencionada anteriormente. Uma vez por mês, quando a Lua está na posição mais próxima da Terra (*perigeu*), as forças geradoras de maré serão maiores que o normal, produzindo deste modo, amplitudes de maré superiores à média. Aproximadamente duas semanas depois, quando a Lua está na posição mais afastada da Terra (no *apogeu*), a força geradora de maré lunar será menor e as amplitudes de maré serão inferiores à média. De um modo semelhante, no sistema Sol/Terra, quando a Terra está mais próximo do Sol (*periélio*), por volta do dia 2 de Janeiro de cada ano, as amplitudes de

maré são amplificadas, e quando a Terra está na posição mais afastada do Sol (*afélio*), em torno do dia 2 de Julho, as amplitudes de maré são mais reduzidas.

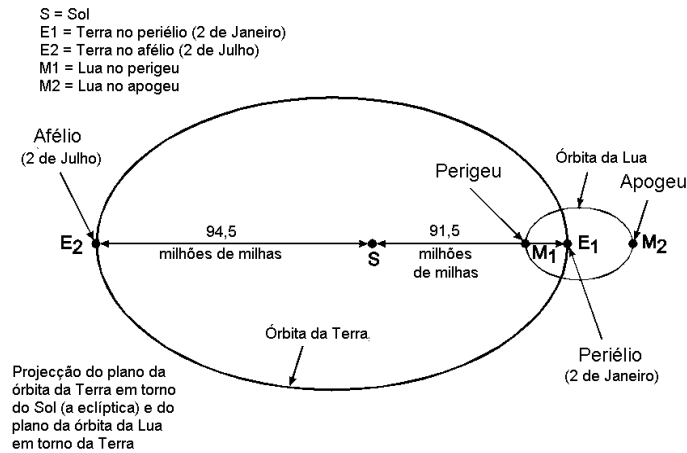



Figura 5.4

Quando o perigeu, o periélio e a Lua Cheia ou a Lua Nova se dão aproximadamente ao mesmo tempo, ocorre um aumento considerável das amplitudes de maré. Quando o apogeu, o afélio e o Quarto Crescente ou Quarto Minguante ocorrem aproximadamente ao mesmo tempo, ocorrem amplitudes de maré consideravelmente reduzidas.

Efeitos da Declinação Lunar: A Desigualdade Diurna – O plano da órbita lunar encontra-se inclinado apenas cerca de 5º relativamente ao plano da órbita da Terra (a *eclíptica*) e, portanto, a Lua na sua revolução mensal em torno da Terra permanece muito próximo da eclíptica.

A eclíptica encontra-se inclinada 23,5º em relação ao equador terrestre, na qual o Sol aparenta mover-se para norte e para sul de modo a dar origem às estações. De um modo semelhante, a Lua, ao efetuar uma revolução em torno da Terra uma vez em cada mês, passa de uma posição de máxima distância angular a norte do Equador para uma posição de máxima distância angular a sul do equador em cada meio mês. A isto dá-se o nome de *declinação*.

Duas vezes em cada mês, a Lua cruza o equador. Na Figura 5.5, esta condição é apresentada pela posição da Lua a tracejado. O correspondente envolvente da força de maré devido à Lua está representado pela elipse a tracejado. As marés que ocorrem quando a Lua está próximo do equador são conhecidas como *marés equatoriais*, enquanto que aquelas que ocorrem quando a Lua está próximo da sua declinação máxima, a norte ou a sul, são conhecidas como *marés trópicas*.

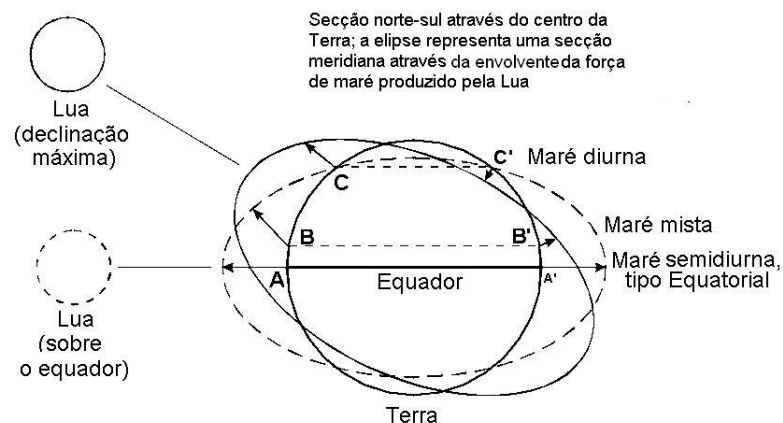



Figura 5.5

Variabilidade – Os efeitos da fase, paralaxe e declinação não são sentidos em todo o lado do mesmo modo, apesar dos três ocorrerem em todas as partes da Terra. As desigualdades de fase são normalmente maiores apesar de numa área particular qualquer uma das três variações poder produzir uma influência predominante na variação da amplitude de maré. O mês relativo às fases lunares, o *mês sinódico*, tem a duração aproximada de 29,5 dias; o mês da distância lunar, o *mês anomalístico*, é de aproximadamente 27,5 dias; e o mês da declinação lunar, o *mês trópico*, é de aproximadamente 29,3 dias. Assim, uma variação considerável da amplitude de maré ocorre em qualquer lugar como resultado das relações em progressiva alteração das três variações referidas umas em relação às outras. Em Seattle, por exemplo, a amplitude média da maré é de 2,3 m, mas as amplitudes isoladas dentro de um mesmo dia podem variar de menos de 1,5 m a mais de 4,5 m.

A amplitude de maré está sujeita a outras variações periódicas (por exemplo, as diferenças de paralaxe solares referidas anteriormente), mas as três discutidas acima são consideradas as variações principais. Todo este ciclo de variações, que se completa em 29,5 dias ou menos, é a razão principal porque o hidrógrafo tem de ter em funcionamento estações maregráficas chave por um mínimo de 30 dias. Apesar da variação de amplitude de um período de 30 dias para outro variar de algum modo, quaisquer 30 dias consecutivos obtidos em combinação com estações de longo período, serão geralmente suficientes para a preparação de reduções de maré. Um desvio importante da amplitude de maré de longo período é o provocado pela variação lenta na orientação da órbita lunar denominada de regressão dos nodos lunares. Esta variação resulta numa diferença de amplitude de maré mensurável mas que varia lentamente. Este desvio dá origem à necessidade de se usarem fatores nodais ou correções nodais quando se procede à análise harmónica ou a previsões de maré e é importante na determinação de diversos *Data* de maré (ver secção 2.1.4).

2.1.2.3. Tipos de Maré

Das três características principais da maré, o tipo é a mais importante. Se as marés em dois locais são do mesmo tipo, mas diferem em tempo ou em amplitude, a maré num dos locais pode ser relacionada de uma forma simples e exata com a maré do outro local. Esta semelhança apoia a capacidade do hidrógrafo de estender os planos de referência de sondagem e de determinar com exatidão as correções de níveis da água em áreas onde uma série relativamente pequena de observações de maré foram obtidas. Por outro lado, se o tipo de maré nos dois locais for diferente, o fato da fase e da amplitude de maré serem as mesmas não indica necessariamente uma relação simples entre os dois locais. Diferenças na fase e amplitude da maré são meramente diferenças em grau, mas diferenças no tipo de maré são diferenças na natureza básica da maré.

O tipo de maré refere-se à forma característica da subida e descida da maré tal como representado pela curva de maré. Apesar da curva de maré de qualquer local particular diferir nalguns aspectos da curva de maré de outro qualquer local, as curvas de maré podem ser agrupadas em três grandes classes ou tipos. Estes tipos são o semidiurno, o diurno e o misto.

Fazendo referência à Figura 5.5, como os pontos A e A’ encontram-se no eixo maior desta elipse, a altura da preia-mar representada em A é a mesma daquela que ocorre à medida que este ponto roda até à posição A’, cerca de 12 horas depois. Quando a Lua está sobre o Equador – ou numa outra declinação em que as forças se equilibram – as duas preia-mares e as duas baixa-mares de um determinado dia são semelhantes em altura em qualquer local. Preia-mares e baixa-mares sucessivas são também quase igualmente espaçadas em tempo e ocorrem uniformemente duas vezes por dia lunar. Este tipo de maré é conhecido como *semi-diurno*. No topo do diagrama da Figura 5.6. apresenta-se a evolução com o tempo de uma curva da altura de maré semi-diurna. O tipo semi-diurno da maré é aquele cujo ciclo completo da preia-mar e baixa-mar é completado em meio dia. Existem duas preia-mares e duas baixa-mares em cada dia lunar de 24 horas e 50 minutos. Para ser classificada como uma maré semi-diurna, os dois ciclos de maré diários devem

ser semelhantes de modo a que, apesar de não serem idênticos, as duas preia-mares e as duas baixa-mares não sejam muito diferentes uma da outra.

Contudo, com a variação da distância angular da Lua acima ou abaixo do equador (como se observa na Figura 5.5), a envolvente de forças de maré produzida pela Lua é inclinado, e as diferenças entre as alturas das duas marés diárias da mesma fase começam a ocorrer. Variações das alturas de maré resultantes das variações do ângulo de declinação da Lua e das linhas correspondentes de ação da força gravítica dão origem a um fenómeno conhecido como *desigualdade diurna*.

Na Figura 5.5, o ponto B encontra-se sob um bojo na envolvente de maré. Meio dia depois, o ponto B', encontra-se novamente debaixo de um bojo, mas a altura da maré não é tão elevada como em B. Esta situação dá origem a uma maré semi-diurna com alturas desiguais em sucessivas preia-mares ou baixa-mares, ou em ambos os pares de marés. Este tipo de maré, exibindo uma forte desigualdade diurna, é conhecido como maré mista (Ver o diagrama do meio na Figura 5.6). O tipo de maré misto é aquele em que duas preia-mares e duas baixa-mares ocorrem em cada dia lunar, mas existem diferenças marcadas entre as duas preia-mares ou as duas baixa-mares do dia. Este tipo de maré é denominado de maré mista porque tem propriedades de uma mistura das marés semi-diurnas e diurnas.

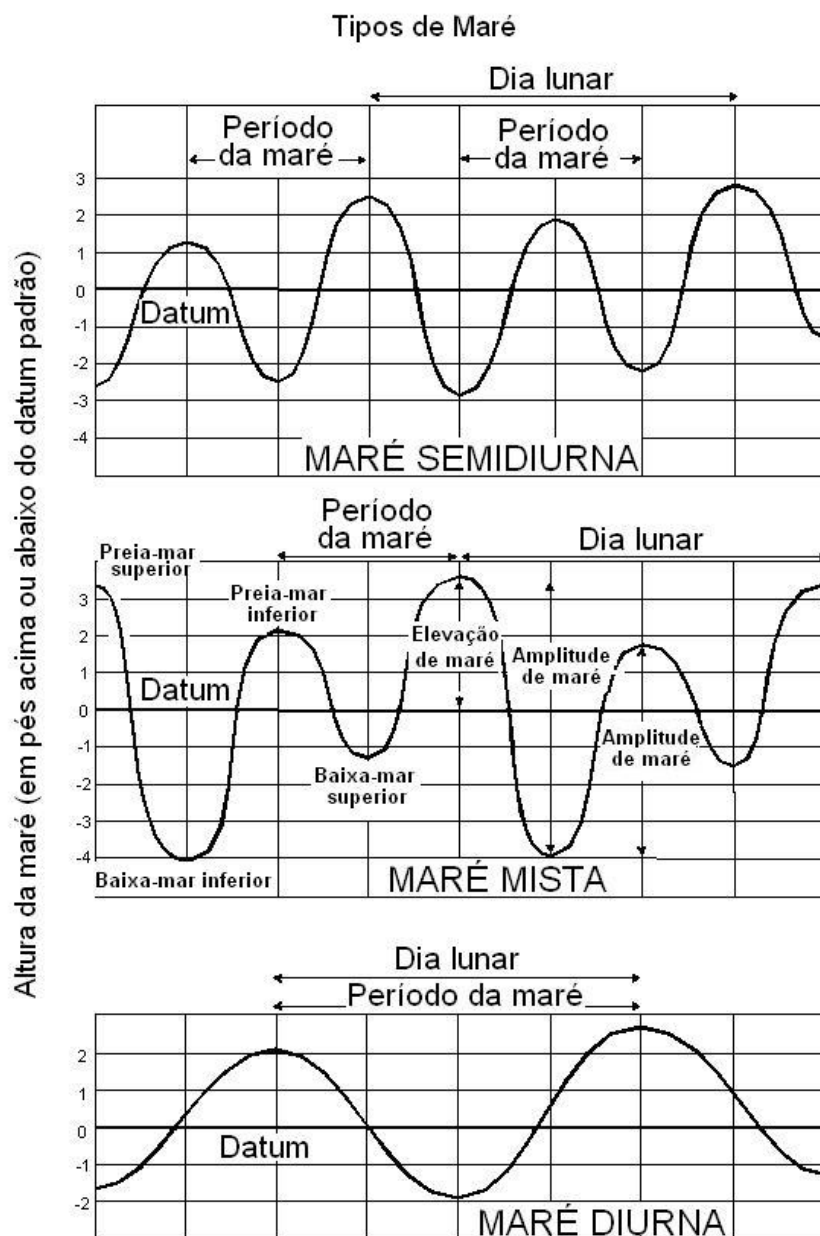



Figura 5.6

Finalmente, e como apresentado na Figura 5.5, o ponto C aparenta estar sob uma porção da envolvente de forças de maré. Contudo, meio dia depois, à medida que este ponto roda para a posição C' encontra-se agora sobre a envolvente de forças. Portanto, neste local, as forças de maré presentes produzem apenas uma preia-mar e uma baixa-mar em cada dia. O tipo de maré diurna resultante apresenta-se no fim do diagrama da Figura 5.6. Este tipo de maré descreve aquelas marés em que uma preia-mar e uma baixa-mar ocorrem num dia lunar. Na maré diurna, o período da enchente, e também da vazante de maré é aproximadamente 12 horas contrariamente ao período de 6 horas das marés semi-diurnas.

A Figura 5.6 apresenta exemplos de cada um dos três tipos de maré, utilizando três dias de registos maregráficos de: Hampton Roads, Virgínia; São Francisco, Califórnia; e Pensacola, Florida. A linha horizontal em cada curva representa o nível médio do mar e a intensidade da subida e descida da maré acima e abaixo do nível médio do mar é indicada pela escala à esquerda.

A curva de cima, para Hampton Roads, ilustra o tipo de maré semi-diurna. Duas preia-mares e duas baixa-mares ocorreram em cada dia, com as marés da manhã e da tarde diferindo relativamente pouco. A curva de baixo, para Pensacola, ilustra o tipo diurno de maré, com uma preia-mar e uma baixa-mar ocorrendo em cada dia. A curva de São Francisco ilustra uma das formas do tipo de maré mista. Duas preia-mares e duas baixa-mares ocorreram em cada dia, mas as marés da manhã diferem consideravelmente das marés da tarde. Neste caso particular, a diferença verifica-se quer na preia-mar quer na baixa-mar.

A diferença entre as marés da manhã e da tarde correspondentes, ou desigualdade diurna, surge principalmente do fato da órbita da Lua estar inclinada relativamente ao plano do equador. Esta inclinação resulta na existência de forças geradoras de maré diurnas e semi-diurnas. Estas forças afetam a subida e descida do nível da água a diferentes níveis, em diferentes locais, principalmente como resultado das respostas locais ou das bacias às forças resultando, deste modo, em diferentes intensidades da desigualdade diurna. De fato, a distinção entre marés mistas e marés semi-diurnas baseia-se inteiramente nesta diferença de intensidade.

Observe-se a curva de São Francisco na Figura 5.6, que ilustra uma maré mista. Apesar de existir uma desigualdade diurna considerável quer nas preia-mares quer nas baixa-mares, a desigualdade das baixa-mares é maior. Em Hampton Roads, a desigualdade, embora não muito grande é visível principalmente nas preia-mares. Como ilustra a Figura 5.7, a desigualdade diurna pode ser característica principalmente nas baixa-mares, nas preia-mares ou pode aparecer igualmente nas preia-mares e baixa-mares. É também importante verificar que a desigualdade diurna é uma característica do tempo da maré e da altura da maré. Tal como a desigualdade da altura varia de local para local e de dia para dia, a duração da enchente e da vazante e o intervalo lunitidal também variam.

De forma a distinguir as duas marés do dia, foram atribuídos nomes a cada uma das marés[51]. Das duas preia-mares, a maior é denominada “preia-mar superior” (PMsup) e a menor “preia-mar inferior” (PMinf). De um modo semelhante, as duas baixa-mares são chamadas de “baixa-mar inferior” (BMinf) e “baixa-mar superior” (BMsup) (ver Figura 5.6). Como medida da desigualdade, são utilizados os termos “desigualdade diurna da preia-mar” (DdPM) e “desigualdade diurna da baixa-mar” (DdBM) . A DdPM é definida como metade da diferença entre preia-mar superior média e a preia-mar inferior média e, a DdBM, é definida como metade da diferença entre as médias da baixa-mar inferior e superior.

Isto pode ser mais facilmente compreendido como a diferença entre a preia-mar média e a preia-mar superior média, e a diferença entre a baixa-mar média e a baixa-mar inferior média, respectivamente.

Analisando um mês de uma série de dados de maré, tal como apresentado nas curvas na Figura 5.7, verifica-se que a desigualdade diurna varia também em intensidade relativamente à declinação da Lua, sendo que a desigualdade é menor quando a Lua está próximo do equador, tal como estava neste mês, do dia 3 ao 5 e do dia 18 ao 20, e sendo maior quando a Lua está próximo da declinação máxima a sul ou a norte do equador, tal como estava nos dias 11 a 13 e 25 a 27.

[51] N.T.: Em Portugal estes termos são utilizados apenas para locais como Macau (que segundo este autor seria de maré mista) para designar os elementos de maré desse local.

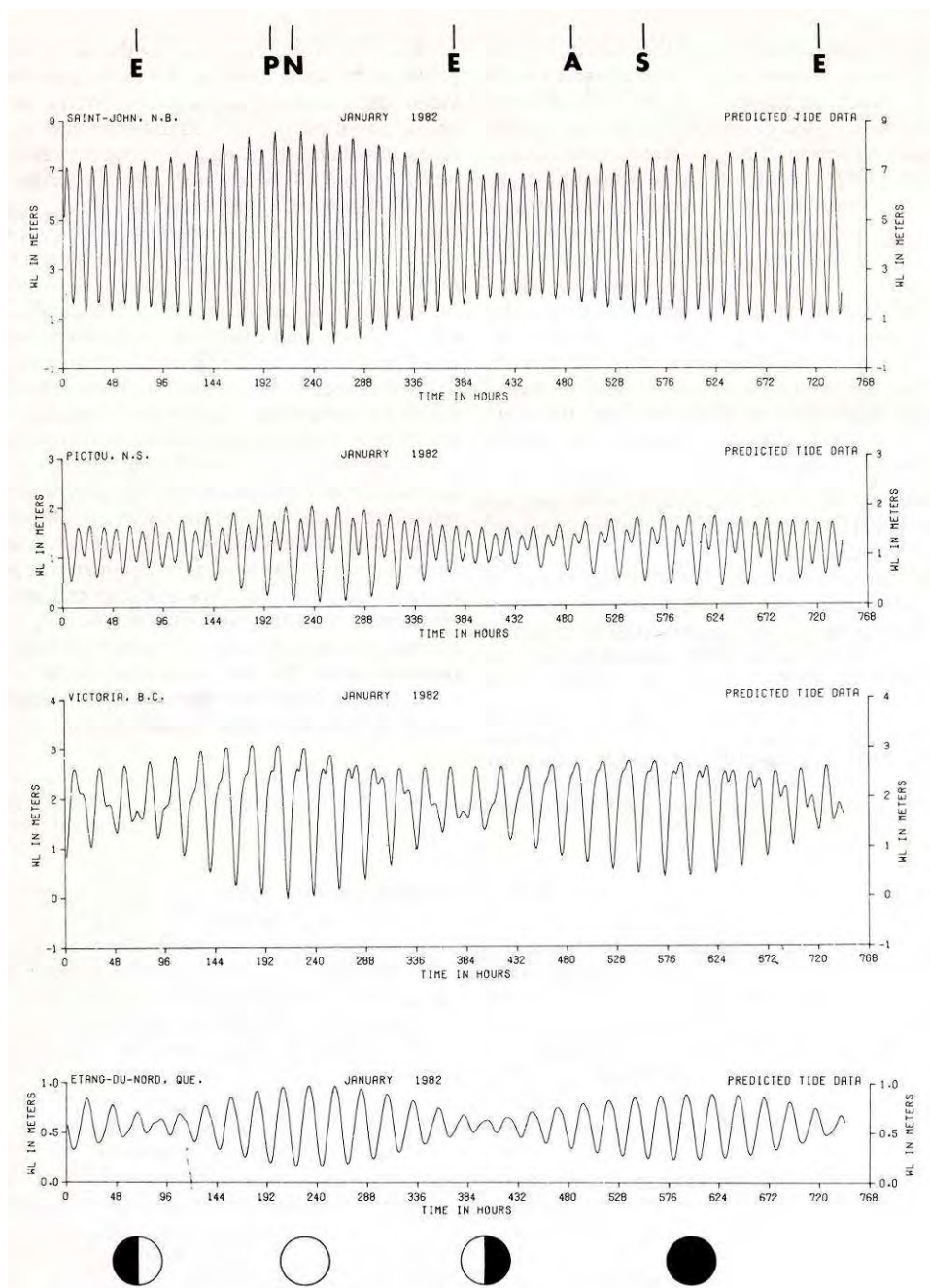



Figura 5.7

2.1.2.4. Efeitos Costeiros e de Bacias

Apesar de serem as forças combinadas do Sol e da Lua que colocam a onda de maré em movimento, é geralmente o tamanho e a forma da bacia oceânica que controla as características da maré. Por exemplo, Pensacola na Florida não se encontra certamente perto do pólo – região à qual a Figura 5.5 restringiria as marés diurnas – contudo tem uma maré diurna evidente. De um modo semelhante, São Francisco e Hampton Roads estão aproximadamente à mesma latitude, mas têm características da maré marcadamente distintas. Tal como a água no interior de uma banheira pode ser colocada num movimento ressonante de uma extremidade à outra, as oscilações de maré numa bacia oceânica ou num mar restrito podem ser amplificadas pelo período natural de ressonância da bacia. A bacia do Oceano Pacífico acentua a componente diurna das marés, originando marés diurnas ou mistas fortes. Por outro lado, o Oceano Atlântico acentua a

componente semi-diurna das marés. Como exemplo mais localizado, grande parte do norte do Golfo do México responde principalmente às componentes diurnas da maré.

O tipo de maré predominante pode mudar em distâncias relativamente curtas. Por exemplo, a costa Leste da Florida apresenta marés semi-diurnas, grande parte da costa Oeste apresenta marés mistas e a grande maioria da zona peninsular, a sul, tem marés diurnas.

Certas configurações costeiras e do fundo oceânico podem aumentar de forma significativa a amplitude das marés. Tal como a crista de uma onda de vento aumenta e quebra à medida que se aproxima da praia, uma onda de maré também aumenta a sua altura à medida que encontra águas pouco profundas e à medida que a linha de costa apresenta cada vez mais constrangimentos. A análise das amplitudes de maré de estações costeiras revela quase sempre o aumento de amplitude à medida que a maré se propaga para o interior de uma baía ou enseada. A enseada de Cook no Alasca, uma massa de água afunilada e em concha, é um exemplo particularmente bom. À medida que a maré entra, vinda do Golfo do Alasca, a sua amplitude aumenta de cerca de 3 m na entrada para cerca de 10 m perto do final em Anchorage. Acima de Anchorage, em Turnagain Arm, a enseada estreita e diminui ainda mais a sua profundidade. Nos períodos de maiores marés, a maré enchente sobe a enseada contra o resto da vazante e eleva-se numa parede vertical de água atingindo cerca de 2 m de altura. Uma parede de água como a descrita, gerada pela maré, é conhecida como macaréu. Os macaréus ocorrem em vários rios ou estuários em todo o mundo onde a amplitude de maré é elevada e a configuração da costa e do leito do mar é a ideal.

2.1.3. Variações do Nível da Água Não Associadas à Maré

As variações no nível de água observado ao longo da costa são devidas, não apenas às forças de maré, mas também, a uma variedade de outras forças numa elevada gama de escalas temporais. Nas frequências mais altas, os níveis de água podem ser afetados por tsunamis, seichas, e sobre-elevações de origem meteorológica. O vento local e variações de pressão barométricas podem provocar um grande efeito, especialmente em águas pouco profundas. O empilhamento de água devido ao vento originado por ventos na direção da costa e pressões barométricas baixas provocam geralmente a elevação dos níveis de água acima dos previstos, enquanto ventos na direção contrária à da costa e pressões barométricas elevadas tendem a ter o efeito oposto. Padrões meteorológicos sazonais acentuados terão consequências mensais no nível do mar. A influência mensal do *El Niño* (*El Niño Southerly Oscillation*) no nível médio do mar no Oceano Pacífico é particularmente notória. Efeitos sazonais e de curto período são também encontrados em estuários com escoamentos fluviais intensos e que são influenciados pelas características do escoamento das bacias hidrográficas e das barragens a montante. Os Grandes Lagos e outros lagos de grandes dimensões são sensíveis aos ciclos anuais de evapo-transpiração e ao ganho ou perda total do volume de água. Variações sazonais nos padrões de circulação oceânica e os desvios nos vórtices oceânicos podem também afetar os níveis costeiros. Dependendo da escala espacial do fenómeno meteorológico, os seus efeitos podem ser vistos ao nível de bacias, a nível regional ou apenas local. O hidrógrafo tem de ter conhecimento destas dependências no planeamento e condução de operações de sondagem e deve saber distinguir quaisquer anomalias nas medições dos níveis de água devido a causas naturais ou meteorológicas contra o mau funcionamento do marégrafo.

2.1.4. *Data* de Maré e de Níveis de Água

O hidrógrafo deve saber relacionar todas as profundidades medidas, independentemente da fase da maré ou do nível de água no instante da sondagem, a um *Datum* ou plano comum. O *Datum* utilizado para referir alturas ou profundidades para aplicações náuticas é um *Datum* vertical denominado "*Datum* de nível de água". Para *Data* deduzidos a partir da maré, na sua grande maioria são calculados a partir de, ou referidos a, períodos específicos de 19 anos ou épocas do *Datum* de marés. O período de 19 anos é importante, tal como referido na secção 2.1.2.2, devido à modulação de 19 anos das constituintes lunares pela variação de longo período no plano de órbita da Lua, denominado regressão dos nodos lunares.

O *Datum* de nível de água ao qual estão referidas as sondas de qualquer levantamento particular é conhecido como o "*Datum* de sondagem". O *Datum* relativamente ao qual as profundidades de uma carta se encontram referidas é conhecido como o "*Datum* cartográfico". Um *Datum* de níveis de água é denominado "*Datum* de marés" quando é definido em termos de uma determinada fase da maré. Nas águas costeiras dos Estados Unidos, a baixa-mar inferior média (BMIm) é utilizada, quer para sondagens, quer para *Data* cartográficos. A BMIm é determinada através da disposição em tabelas das observações de maré, neste caso a média das baixa-mares inferiores de cada dia e durante um período de 19 anos. Atualmente, os Estados Unidos referem todos os *Data* de maré determinados a partir de observações de maré à Época do *Datum* de Marés Nacional de 1983-2001 (NTDE) e atualizam para novos NTDEs apenas depois da análise da variação relativa do nível médio do mar. Em contrapartida, alguns *Data* cartográficos são determinados a partir da análise harmónica das observações e construindo séries temporais de previsões de maré para um período de 19 anos. O *Datum* Cartográfico Canadiano é a superfície da baixa-mar inferior, maré maior ou BMIMM que contém o *Datum* utilizado anteriormente da maré normal inferior (MNI). As cartas britânicas utilizam, neste momento, um *Datum* cartográfico da maré astronómica mais baixa (BMmin) baseado na previsão da maré mais baixa que se espera que ocorra num período de 19 anos. A BMmin é determinada para um local específico através de análise harmónica das observações, utilizando-se depois as constituintes harmónicas resultantes numa equação de previsão que prevê a elevação da maré mais baixa que ocorrerá num período de 19 anos. O uso da BMmin tem sido adotado a nível internacional pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI). A análise harmónica tem também sido utilizada para determinar outros *Data* cartográficos. Os *Data* cartográficos utilizados em cartas antigas do Almirantado Inglês eram os de baixa-mar de águas vivas (BMAV) e baixa-mar de águas vivas indiana (BMAVI). A BMAV e a BMAVI são determinadas a partir do somatório das amplitudes das várias constituintes harmónicas principais abaixo do nível médio do mar local.

Em áreas onde a maré é bastante reduzida ou inexistente, outros *Data* de nível de água são utilizados. No Mar Negro, é utilizado o nível médio do mar ou o nível médio das águas. Na região dos Grandes Lagos, quer o Canadá quer os Estados Unidos, utilizam um *Datum* de baixa-mar (DBM) fixo para cada lago baseado na análise de médias mensais durante períodos de baixa-mar. Em lagoas e baías sem maré, na costa dos Estados Unidos onde se situa a transição de um local com maré para um local sem maré, utiliza-se um DBM que é determinado subtraindo 0,2 m ao nível médio do mar local, determinado a partir das observações e ajustado a um período de 19 anos.

Existe uma variedade de *Data* cartográficos locais empregue em rios sob a influência da maré. Nos Estados Unidos, os *Data* cartográficos foram determinados a partir da análise de medições durante períodos de baixo caudal fluvial durante um determinado período de tempo e que depois foram fixos para utilização cartográfica. Como exemplos tem-se o *Datum* do rio Hudson e o *Datum* do rio Columbia, ambos baseados na BMIm, a partir de observações em períodos de baixo caudal fluvial ao longo do ano.

O *Datum* de nível de água é um plano local de elevação que se aplica apenas na área específica onde foram efetuadas as medições de nível de água. Quer seja de maré ou não, está permanentemente referido a terra através do nivelamento do marégrafo a uma rede local de marcas de nivelamento. Procedimentos para a determinação dos *Data* de maré serão referidos mais à frente neste Capítulo.

Os *Data* de níveis de água são completamente distintos dos *Data* verticais geodésicos. Por exemplo, os Estados Unidos e Canadá utilizam o *Datum* Vertical Norte Americano de 1988 (NAVD 88) e o *Datum* Internacional dos Grandes Lagos de 1985 (IGLD 85) como os *Data* verticais para fins geodésicos. A relação entre NAVD 88 (ou IGLD 85) e o nível médio do mar local ou nível médio das águas varia consideravelmente de local para local. De fato, é impossível transferir um *Datum* de marés de um local para outro através de nivelamento geodésico, sem considerar as condições locais da maré. No entanto, a rede geodésica estabelece relações entre as

várias estações maregráficas e as elevações do seu *Datum* de marés ao longo do continente Norte Americano e pode ser utilizada para recuperar um *Datum* de maré local a que esteja ligado, se as marcas de nivelamento tiverem sido destruídas. Isto requer ligações por nivelamento ou ligações GPS entre as redes geodésicas e as redes de marcas de nivelamento associadas às estações maregráficas.

2.1.5. Análise Harmónica e Previsão da Maré

Cada um dos movimentos geradores de maré descritos nas secções anteriores pode ser representado por uma simples curva co-seno, tal como ilustrado na Figura 5.8. O eixo horizontal representa o tempo e o vertical representa a intensidade da força geradora de maré. As cristas fornecem o tempo dos máximos das forças geradoras de maré e as cavas os mínimos. Por exemplo, na Figura 5.8, considerando o sistema Sol/Terra, o meio-dia, com o Sol diretamente acima, está representado na primeira crista. Seis horas depois ocorre um mínimo na cava. O segundo máximo é à meia-noite com a segunda crista. Outra cava aparece de madrugada e, depois o ciclo repete-se e regressa à crista, ao meio-dia.

Cada um dos movimentos geradores de maré, representado por uma simples curva harmónica co-seno, é conhecido como uma componente da maré, constituinte da maré ou constituinte harmónica. Uma letra ou letras e, usualmente um subscrito, são utilizados para designar cada constituinte. A constituinte da maré descrita acima, por exemplo, denominada constituinte semi-diurna Solar Principal, é designada S_2. A constituinte semi-diurna Lunar Principal é designada de M_2. S é para o Sol e M é para a Lua e o subscrito $_2$ significa que existem dois ciclos de maré completos para cada ciclo astronómico. Portanto, dizem-se constituintes semi-diurnas. As constituintes são descritas pelo seu período de maré (o tempo de máximo a máximo), **P**. O período da S_2 é de 12,00 horas solares (h) e o período da M_2 é de 12,42 horas solares:

Velocidade (frequência), n=360°/P

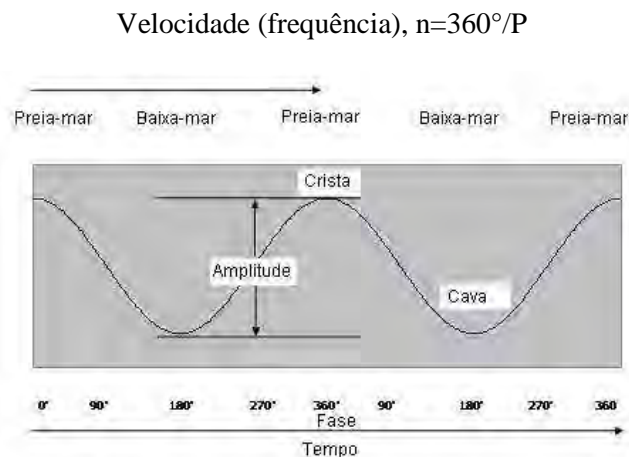



Figura 5.8 "A curva de maré representada como uma forma de onda [adaptado de S. Hicks (2004)]"

Em trabalhos de marés, cada constituinte (curva co-seno) é mais frequentemente descrita pela sua velocidade (ou frequência em graus por hora). A curva co-seno encontra-se dividida em 360º (de crista a crista). A velocidade **n** da constituinte é 360º/P. Então, para a S_2, n=360º/12,00=30º/h; para a M_2 n=360º/12,42=28,984º/h.

Existe um número infinito de constituintes para descrever quase todas as perturbações nos movimentos relativos do Sol, Lua e Terra (incluindo os aspectos da distância e declinação). Contudo, depois de cerca de 37, os efeitos destes movimentos na representação das marés são extremamente pequenos na maioria dos locais nos Estados Unidos. Para áreas complexas em termos de marés, no interior de estuários, como em Anchorage, no Alasca e Filadélfia, na Pensilvânia, são necessárias acima de uma centena de constituintes para descrever adequadamente a curva de maré. Estas constituintes adicionais são artefatos que combinam as constituintes

fundamentais diurnas e semi-diurnas para produzir constituintes de alta-frequência (de 3 a 13 ciclos por dia) que tentam descrever os efeitos não-lineares complexos do atrito do fundo e de águas pouco profundas.

As representações dos vários acontecimentos astronómicos e o desenvolvimento dos seus períodos e velocidades são essenciais para a compreensão das técnicas de análise harmónica. O desenvolvimento de constituintes da maré compostas, ou as de águas pouco profundas, originadas por atrito, encontra-se fora do âmbito deste capítulo.

A constituinte semi-diurna Solar Principal, S_2, representa a rotação da Terra relativamente ao Sol. A Terra roda uma vez em cada 24 horas solares médias ou, dado que uma volta completa da Terra são 360º, esta move-se à taxa de 360º/24=15º/h. Porém, existe um máximo na força geradora de maré solar debaixo do Sol e no lado oposto (meia-noite). Então, o período (máximo a máximo) da constituinte é de 12 horas solares médias e a velocidade é: S_2 360º/12=30º/h.

A constituinte semi-diurna Principal Lunar, M_2, representa a Terra a rodar relativamente à Lua. Dado que a Lua se está a mover para Leste, demora 24,8412 horas solares médias a trazer a Lua diretamente acima novamente. De novo, existem dois máximos neste dia lunar, portanto o período é apenas de 12,4206 horas Solares médias e a sua velocidade é: M_2 360º/12,4206=28,984º/h.

As constituintes S_2 e M_2 colocam-se em fase (máximo alinhamento) e desfasadas (o máximo alinhamento de uma constituinte com o mínimo da outra) para produzir marés vivas e marés mortas, respectivamente (Figura 5.3). As marés vivas ocorrem nos instantes de Lua Cheia e Lua Nova enquanto as marés mortas ocorrem nos instantes de Quarto Crescente e Quarto Minguante. O movimento de translação da Lua em torno da Terra relativamente ao Sol demora 29,5306 dias (denominado o mês sinódico ou uma lunação). Dado que existem dois máximos, as marés vivas ocorrem em cada 29,5306/2=14,765 dias e as marés mortas 7,383 dias depois das marés vivas.

A constituinte semi-diurna Elíptica Lunar Maior, N_2, e a constituinte semi-diurna Elíptica Lunar Menor, L_2, são duas constituintes que simulam o ciclo de perigeu a perigeu. Estas constituintes são completamente artificiais em contraste com a S_2 e a M_2 que têm relações realistas com as envolventes solar e lunar das forças geradoras de maré. O instante de perigeu a perigeu ocorre em cada 27,5546 dias (o mês anomalístico) ou 661,31 horas solares médias. A velocidade de perigeu a perigeu é então 360º/661,31=0,544º/h. Este é um acontecimento lunar e a velocidade da M_2 é de 28,984º/h. Portanto, as velocidades das constituintes são:

$$N_2 \; 28{,}984 - 0{,}544 = 28{,}440°/h$$

$$L_2 \; 28{,}984 + 0{,}544 = 29{,}528° \; h$$

Então, quando a N_2 e a L_2 estão em fase em cada 27,5546 dias (mês anomalístico) estas ondas adicionam-se à M_2 para simular a maior aproximação da Lua à Terra (perigeu). Também, 13,7773 dias depois estas ondas desfasam-se para simular o apogeu (a Lua na posição mais afastada da Terra).

A constituinte diurna Declinacional Luni-solar, K_1, e a constituinte diurna Declinacional Lunar Principal, O_1, são também constituintes artificiais que simulam o ciclo entre duas declinações máximas consecutivas da Lua. A declinação máxima norte ocorre em cada 27,3216 dias (o mês trópico) ou 655,72 horas solares médias. Contudo, as declinações norte e sul produzem os mesmos resultados. O ciclo de norte a sul (e de sul a norte) é de 655,72/2=327,86 horas. A velocidade é de 360º/327,86=1,098º/h. As velocidades das constituintes, como modificam a M_2, serão a velocidade da M_2 mais ou menos a velocidade do ciclo de norte a sul. Como o máximo é apenas sentido uma vez por dia à medida que a Terra gira, as velocidades das constituintes são metade da soma e da diferença:

$$K_1 \ (28,984 + 1,098) / 2 = 15,041°/h$$

$$O_1 \ (28,984 – 1,098) / 2 = 13,943°/h$$

Assim, quando a K_1 e a O_1 estão em fase, em cada 13,6608 dias (metade do mês trópico, i.e. o mês em relação ao equinócio vernal), adicionam-se à M_2 para simular a máxima declinação da Lua a norte ou a sul. Estas constituintes simulam a desigualdade diurna devido à Lua (as duas preia-mares e/ou as duas baixa-mares são desiguais em altura em cada dia lunar) e, em situações extremas, as marés diurnas (uma preia-mar e uma baixa-mar em cada dia lunar).

A constituinte diurna Declinacional Luni-Solar, K_1, e a constituinte diurna Declinacional Solar Principal, P_1, simulam o ciclo de máxima declinação a máxima declinação do Sol. O ciclo de máxima declinação norte a máxima declinação norte ocorre em cada 365,2422 dias (ano trópico) ou 8765,81 horas solares médias. No entanto, as declinações norte e sul produzem os mesmos resultados. O ciclo de norte a sul (e de sul a norte) é de 8765,81/2=4382,91 h. A velocidade é de 360º/4382,91=0,082º/h. As velocidades das constituintes, como modificam a S_2, serão a velocidade da S_2 mais ou menos a velocidade do ciclo de norte a sul. Dado que o máximo é apenas sentido uma vez por dia à medida que a Terra gira, as velocidades das constituintes são metade da soma e da diferença:

$$K_1 \ (30,000 + 0,082) / 2 = 15,041°/h$$

$$P_1 \ (30,000 – 0,082) / 2 = 14,959°/h$$

Assim, quando a K_1 e a P_1 estão em fase em cada 182,62 dias (metade do ano trópico, i.e. o ano em relação ao equinócio vernal), estas adicionam-se à S_2 para simular a declinação máxima do Sol a norte ou a sul. Estas constituintes também contribuem para a desigualdade diurna.

As intensidades teóricas relativas das várias constituintes são também de interesse. Deve ser relembrado, contudo, que são determinadas a partir das forças geradoras de maré e não são necessariamente os valores da maré observada. São baseadas no valor um para a M_2, dado que a M_2 é usualmente a constituinte dominante. Os valores das intensidades relativas e dos períodos das constituintes (360º/velocidade) são:

M_2	1,00	12,42 h
S_2	0,46	12,00 h
O_1	0,41	25,82 h
K_1	0,40	23,93 h
N_2	0,20	12,66 h
P_1	0,19	24,07 h
L_2	0,03	12,19 h

2.1.5.1. Análise Harmónica

O processo matemático que analisa uma constituinte de cada vez a partir de uma série temporal observada é denominado de análise harmónica. Conhecendo os períodos das constituintes, é possível removê-las, desde que se tenha uma série suficientemente longa. Geralmente, um ano é o desejável mas um mês pode fornecer resultados adequados com marés semi-diurnas dominantes. Os Estados Unidos efetuam análises harmónicas padrão para 37 constituintes, apesar de diversas constituintes serem demasiado pequenas em muitas das estações.

A partir da análise harmónica dos registos de níveis de água observados, são obtidos dois valores para cada constituinte de maré. A amplitude[52], a distância vertical entre o nível de meia maré e o nível da crista (quando representado num gráfico como uma curva co-seno) é um dos valores. O outro valor é a fase[53]. A fase é a quantidade de tempo que decorreu entre o acontecimento astronómico máximo e o primeiro máximo da constituinte de maré correspondente. Geralmente é expressa em graus de uma curva co-seno completa (360º) dessa constituinte. Estes dois valores são conhecidos como constantes harmónicas e estão ilustrados na Figura 5.9. Deve ser relembrado que estes são únicos para cada estação particular para onde foram calculados. As constantes harmónicas são tratadas como uma constante apesar de no sentido estrito, não o serem dado que os valores determinados encontram-se afetados por ruído no sinal, pelo comprimento da série analisada, etc. As constantes que são aceites, e são utilizadas, são consideradas as melhores estimativas dos valores reais (desconhecidos). Sempre que ocorrer qualquer acontecimento natural ou projetos de engenharia, tais como a erosão, deposição, dragagens ou construção de quebra-mares, que têm o potencial para causar grandes alterações na topografia adjacente, devem ser efetuadas novas medições e uma nova análise harmónica.

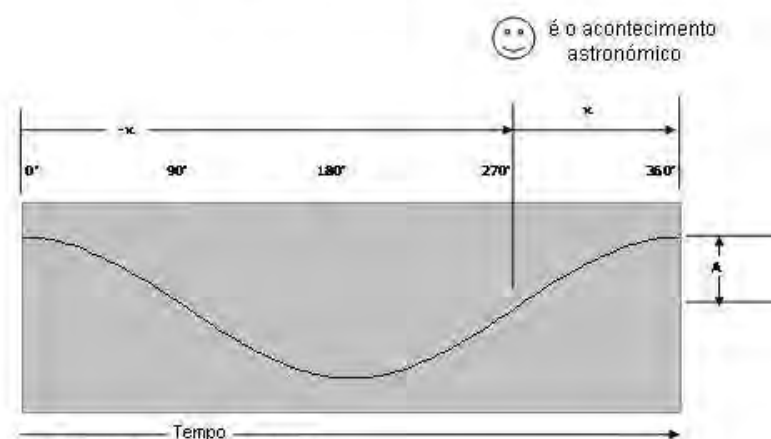



Figura 5.9 "A amplitude e fase de uma constituinte harmónica [adaptado de S. Hicks (2004)]"

2.1.5.2. Previsão da Maré

Para prever a maré para um ano de calendário civil, é necessário conhecer as constantes harmónicas (amplitudes e fases) para as constituintes em cada local para o qual se pretende efetuar previsões. Estas são obtidas a partir da análise harmónica da maré observada em cada local, tal como descrito acima. Os ajustamentos são efetuados para as configurações astronómicas do início do ano. Sabendo a fase de cada constituinte a partir da análise harmónica, o primeiro máximo de cada curva co-seno ocorre depois do fenómeno pela quantidade da sua fase. A amplitude de cada curva co-seno é aquela determinada a partir de análise harmónica. Finalmente, para cada hora do ano, são adicionadas as alturas de todas as curvas co-seno. Quando representada num gráfico, a curva resultante é geralmente muito semelhante (em forma e tamanho) à curva observada originalmente.

Os tempos e alturas das preia-mares e baixa-mares são colocados como previsões para o próximo ano. É possível obter um vasto número de previsões através da aplicação de correções às estações para as quais as constantes harmónicas foram determinadas – as Estações de Controlo Principais (Estações de Referência).As estações secundárias (aquelas que não têm constantes harmónicas)

---

[52] N.T.: que corresponde na realidade à semi-amplitude de maré

[53] N.T.: em inglês *phase lag* ou *Epoch*

encontram-se referidas à sua Estação de Referência próxima por constantes empíricas. Portanto, são também obtidas previsões para estas Estações Secundárias.

O tipo de maré num determinado local é principalmente uma função das declinações do Sol e da Lua. Em muitos desses locais, as declinações estão constantemente a variar de tal modo que o tipo de maré varia ao longo do mês e ano. Um sistema de classificação mais rigoroso está disponível utilizando as amplitudes das constituintes principais em cada local. Quantitativamente, onde a razão entre (K_1+O_1) e (M_2+S_2) é menor que 0,25, a maré é classificada como semi-diurna; onde a razão se encontra entre 0,25 e 1,5, a maré é mista maioritariamente semi-diurna; onde a razão se situa entre 1,6 e 3,0, a maré é mista maioritariamente diurna; e quando a razão é superior a 3,0, a maré é diurna.

As características da desigualdade diurna e a sua variação quinzenal podem ser explicadas considerando a combinação das constituintes diurnas e semi-diurnas resultantes das forças geradoras de maré diurnas e semi-diurnas. Tal como apresentado na Figura 5.10, onde a constituinte semi-diurna é representada por uma curva ponteada e a constituinte diurna por uma curva a tracejado cor-de-rosa, a maré resultante, representada por uma linha sólida azul, é claramente a soma destas duas constituintes.

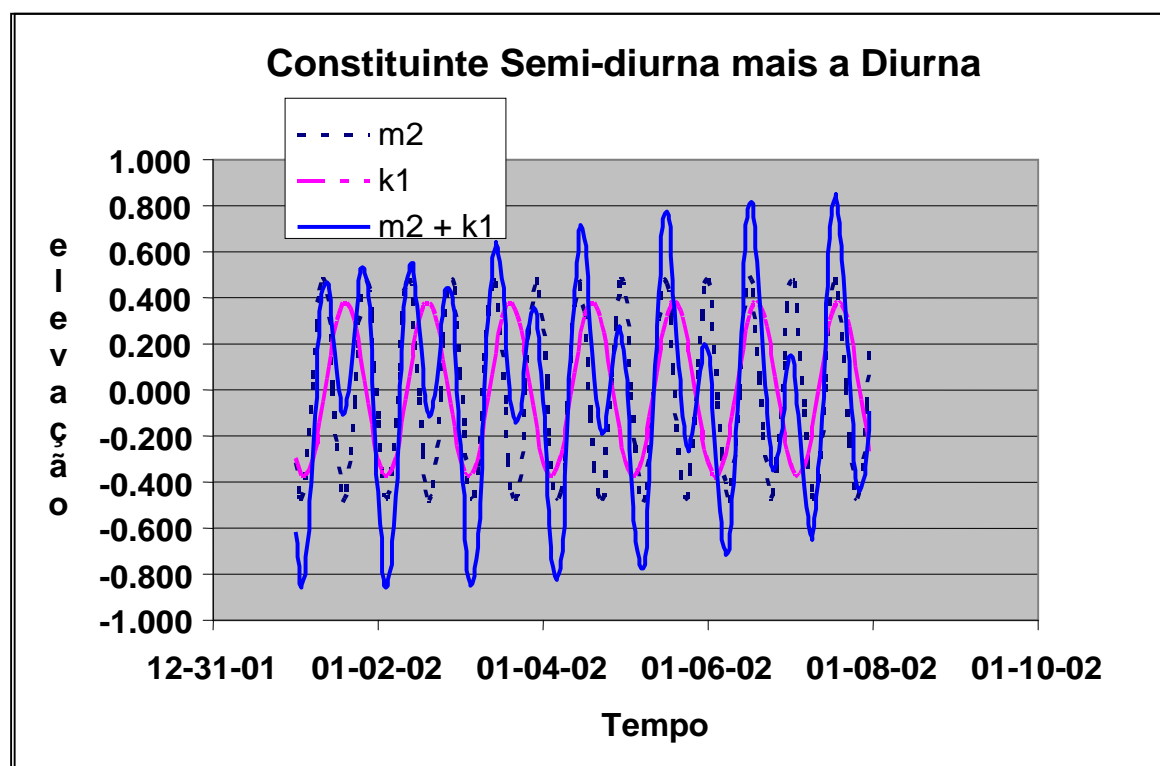



Figura 5.10

As amplitudes relativas das constituintes em qualquer local, assim como os tempos relativos das duas constituintes, dependem não só da fase e intensidade relativa das forças geradoras de maré, mas também das características hidrográficas da bacia de maré e da área local. Por esta razão, as mesmas forças geradoras de maré podem dar origem a diferentes amplitudes e tempos relativos das constituintes diurnas e semi-diurnas em diferentes locais. A Figura 5.10 exemplifica o caso mais simples onde as amplitudes das duas constituintes são iguais, mas o tempo relativo das preia-mares e baixa-mares varia. Em cada caso, existe uma considerável desigualdade diurna, mas existem diferenças profundas na fase da maré que apresenta a desigualdade. No diagrama de cima, onde as baixa-mares ocorrem ao mesmo tempo, a desigualdade diurna é verificada nas baixa-mares. No diagrama do meio, onde as preia-mares ocorrem simultaneamente, a desigualdade é apresentada nas preia-mares. E, no diagrama de baixo, onde as duas constituintes estão no nível

médio do mar ao mesmo tempo, a desigualdade é apresentada de igual modo nas preia-mares e baixa-mares. Estes três diagramas retratam as três classes gerais em que se encontra agrupada a desigualdade diurna das alturas de maré.

Nas marés observadas, não só os tempos das constituintes têm diferentes relações, como também as amplitudes das duas constituintes também diferem. Considere-se o diagrama inferior na Figura 5.10. Se a amplitude da constituinte semi-diurna (linha ponteada) permanece como apresentado mas a amplitude da constituinte diurna (linha a tracejado) se torna maior, verifica-se que a preia-mar inferior tornar-se-á mais baixa e a baixa-mar superior tornar-se-á mais alta. Quando a amplitude da constituinte diurna torna-se o dobro da constituinte semi-diurna, a preia-mar inferior e a baixa-mar superior serão iguais em altura, resultando numa "maré que tende a desaparecer"). À medida que a amplitude da constituinte diurna aumenta ainda mais, haverá apenas uma preia-mar e uma baixa-mar por dia, resultando numa maré diurna. Combinando os efeitos do tempo e da amplitude, verifica-se que se a amplitude da constituinte diurna é menor que 2 vezes a da constituinte semi-diurna, ocorrerão duas preia-mares e duas baixa-mares por dia; se a amplitude diurna se encontra entre 2 a 4 vezes a da semi-diurna podem ocorrer duas preia-mares e duas baixa-mares ou uma preia-mar e uma baixa-mar por dia; e se a amplitude diurna for superior a 4 vezes a da semi-diurna, apenas uma preia-mar e uma baixa-mar por dia ocorrerão.

Note-se que as intensidades de ambas as forças diurnas e semi-diurnas variam ao longo de um mês, sendo as primeiras maiores nas declinações máximas a norte e a sul, e as últimas máximas quando a Lua está sobre o equador. Portanto, a maré num determinado local exibe vários graus de desigualdade dentro de quaisquer dois períodos semanais.

Na realidade, existem cerca de 70 constituintes de maré que combinadas produzem a maré resultante. Destas constituintes, existem quatro constituintes semi-diurnas principais e três constituintes diurnas principais que correspondem às constituintes diurnas e semi-diurnas representadas na Figura 5.11.

Cada constituinte é baseada nalgum movimento da Terra, Lua ou Sol ou numa combinação dos três. As mais importantes destas constituintes completam os seus ciclos dentro de um mês e todas exceto as mais insignificantes completam os seus ciclos dentro de 18,6 anos. O período de 19 anos de operação necessário para a designação de uma estação maregráfica principal é baseado neste calendário. O período completo de 19 anos é usado em vez do ciclo de 18,6 anos, dado que as variações sazonais são geralmente muito maiores do que algumas das constituintes astronómicas menores.

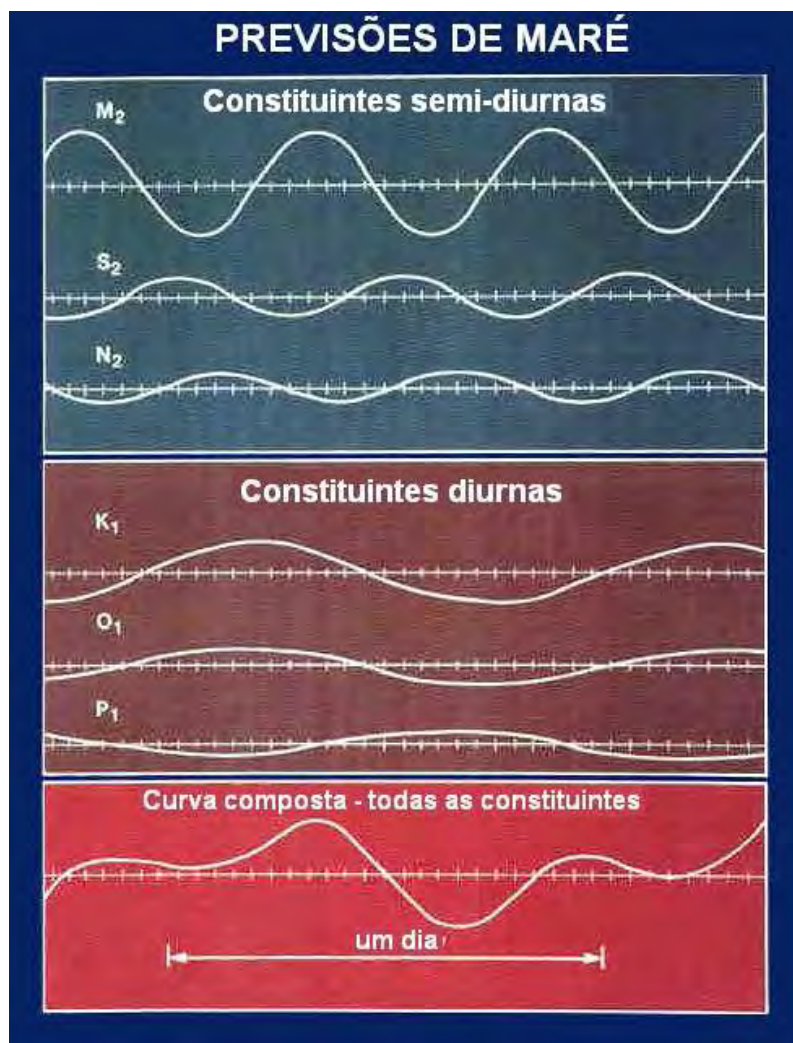



Figura 5.11

2.2. Funções de Apoio Operacionais

Esta secção cobre os requisitos dos *Data* verticais e de níveis de água para apoio operacional aos levantamentos hidrográficos. O âmbito deste apoio está compreendido nas seguintes áreas funcionais:

a) Planeamento dos requisitos de marés e níveis de água;

b) Desenvolvimento do zonamento preliminar de marés e níveis de água;

c) Operação da estação de controlo de níveis de água;

d) Instalação, operação e remoção de estações de níveis de água complementares;

e) Controlo de qualidade, processamento e disposição dos dados em tabelas;

f) Cálculo do *Datum* de marés e níveis de água e recuperação do *Datum*;

g) Geração de redutores de níveis de água e zonamento final de marés;

2.2.1. Considerações acerca do Balanço de Erros

Os redutores de níveis de água podem ser um corretor importante às sondagens de modo a reduzi-las ao *Datum* cartográfico, nomeadamente em áreas de águas pouco profundas com relativamente grandes amplitudes de maré. Contudo, os erros associados a correções de níveis de água geralmente não são dependentes da profundidade. A porção do erro dos redutores de níveis de água deve ser equilibrada contra todos os outros erros de sondagem de modo a assegurar que o balanço total do erro não seja excedido. A contribuição permissível do erro associado às marés e níveis de água para o balanço total do erro de sondagem situa-se tipicamente entre 0,20 m e 0,45 m, dependendo da complexidade das marés.

O erro total das marés e níveis de água pode ser considerado como tendo as seguintes componentes de erro:

a) O erro da medição do marégrafo/sensor e o erro do processamento ao referir as medições ao *Datum* da estação. O erro de medição, incluindo os efeitos dinâmicos, não deve exceder os 0,10 m a um nível de confiança de 95% (ver os requisitos mínimos da OHI para sondagens hidrográficas, S-44 5ª Edição, Capitulo 3). O erro de processamento inclui também o erro de interpolação do nível da água no instante exato das sondagens. Uma estimativa para um erro de processamento típico é 0,10 m a um nível de confiança de 95%.

b) O erro associado ao cálculo da primeira redução ao *Datum* da maré e ao ajustamento ao período de 19 anos para estações de curto período. Quanto menor a série temporal, menos exato será o *Datum*, i.e. maior será o erro. Uma estação de controlo inapropriada também diminui a exatidão. A NOAA determinou que o erro estimado para um *Datum* de marés ajustado baseado num mês de dados é de 0,08 m para as costas Atlântica e do Pacífico e 0,11 m para a costa do Golfo do México (a um nível de confiança de 95%).

c) O erro na aplicação do zonamento de maré. O zonamento da maré é a extrapolação e/ou interpolação das características da maré de um ponto(s) na costa conhecido para uma área desejada de sondagem utilizando diferenças em tempo e razões de amplitude. Quanto maior a extrapolação/interpolação, maior a incerteza e o erro. Estimativas para erros típicos associados com zonamento de marés são de 0,20 m a um nível de confiança de 95%. Porém, os erros para esta componente podem facilmente exceder os 0,20 m se as características da maré forem muito complexas ou mal definidas e se existem efeitos diferenciais pronunciados da meteorologia nos níveis de água ao longo da área de sondagem.

2.2.2. Planeamento dos Requisitos de Maré e Níveis de Água

O planeamento da medição de marés e níveis de água nos levantamentos hidrográficos requer atenção em cada uma das sete áreas funcionais mencionadas acima. No contexto da operação do levantamento completo e geração do produto final, o planeamento envolve:

a) Determinação de uma estimativa de erro total;

b) Estudo das características da maré e níveis de água e do ambiente meteorológico e oceanográfico;

c) Determinação das estações de controlo a utilizar e que controlo vertical existe na área, localização, logística e período de tempo das estações níveis de água de curto período e equipamento, incluindo GPS e ligações ao *Datum* geodésico;

d) Construção de esquemas de zonamento;

e) Desenvolvimento operacional da recolha de dados, controlo de qualidade e processamento de dados e funções de análise;

f) Desenvolvimento do zonamento final e de procedimentos de determinação do *Datum*, aplicação de redutores de níveis de água às folhas hidrográficas e estimação do balanço final do erro.

Através das seguintes aspectos de planeamento do projeto podem-se efetuar tentativas para minimizar e equilibrar estas fontes potenciais de erro: uso e especificação de equipamentos de medição de níveis de água exatos e fiáveis, otimização da mistura de zonamento necessária, número de localizações das estações requeridas e duração das observações dentro de limites práticos da área de sondagem e duração da sondagem. Os limites práticos dependem das características da maré da área e da adequação da linha de costa na instalação e operação apropriada dos marégrafos.

O hidrógrafo deve planear as operações de modo a assegurar a recolha contínua de séries de dados válidas. Qualquer falha na medição de séries de níveis de água afeta a exatidão dos cálculos do *Datum*. Falhas nos dados resultam também no aumento do erro dos redutores de maré pois torna-se necessário efetuar interpolações para fornecer dados no instante das sondagens. Deve ser instalado, e operado durante o projeto, um sensor independente de salvaguarda das medições ou um sistema redundante completo de recolha de níveis de água sempre que se efetuem trabalhos num local de medição crítico onde os dados de níveis de água não podem ser transmitidos ou monitorizados durante as operações hidrográficas,

As localizações das estações maregráficas são selecionadas de modo a reunir dois conjuntos de critérios. Primeiramente, para ter uma cobertura adequada, as estações devem ser suficientes em número e distribuídas apropriadamente para retratar com exatidão o regime de marés e níveis de água. Em segundo lugar, os locais específicos devem ser adequados para a medição exata da grande variedade de níveis de água existentes.

A densidade e distribuição dos marégrafos dependem das variações das características dos níveis de água (geralmente das marés) da área de sondagem. A medição da maré é geralmente planeada de modo a identificar cada variação de 0,1 m na amplitude em áreas com 3 m ou menos de amplitude, cada variação 0,2 m de amplitude para áreas com mais de 3 m de amplitude e identificar cada variação de 0,3 horas no intervalo de Greenwich.

Na determinação dos requisitos de cobertura, as características da maré são primeiramente avaliadas num sentido geográfico geral. O tipo de maré e as variações do mesmo (semi-diurno, diurno, misto) são analisados. A fonte a partir da qual a maré avança para a área é determinada e a força da maré é avaliada relativamente às influências meteorológicas localizadas e sazonais. As áreas de transição de regimes de maré para regimes sem maré são particularmente importantes, uma vez que áreas sem maré recebem um tratamento diferente para a determinação do *Datum* de baixa-mar.

Seguidamente, são avaliadas as características da maré num contexto geográfico localizado. Verifica-se que ocorrem mudanças complexas na maré em enseadas pouco profundas, pântanos extensos e constrangimentos estreitos. As lagoas podem interromper o escoamento da maré na baixa-mar e o escoamento constante do rio afeta a maré em todas as fases. Em grandes baías de pequena profundidade e com pequena amplitude de maré, o vento tem um efeito considerável no tempo e altura da maré. Isto também é verdade em trechos largos do rio ou ao longo de costas onde a água é pouco profunda. Influências de origem antropogénica tais como molhes, dragagens, barragens, diques, tomadas de água de hidroelétricas e práticas de gestão de níveis de água podem também ter impactos significativos.

Depois desta análise são identificadas, agora, as localizações aproximadas das estações: em ambos os lados de qualquer impedimento significativo ao escoamento da maré são geralmente necessárias estações; em intervalos frequentes em áreas pouco profundas e em braços dos rios estreitos a montante; na cabeça da navegação ou no limite do levantamento de todos os rios e riachos; e em ambos os lados da transição de zonas com maré para zonas sem maré ou entre zonas de transição de marés diurnas, mistas ou semi-diurnas. A área do levantamento está geralmente ladeada com estações de modo a que a extrapolação de redutores de níveis de água não seja necessária. Aquando da sondagem em aproximações de canais abertos onde as profundidades não são muito superiores ao calado dos navios, os dados de níveis de água fornecidos por um único marégrafo dentro da costa podem não ser exatos o suficiente para a redução de sondagem. Em tais levantamentos, pode ser bastante conveniente instalar uma estação temporária numa estrutura ao largo. Também, é normalmente planeada a sobreposição da cobertura de modo a que pelo menos duas estações estejam a operar numa determinada porção da área de sondagem. Esta sobreposição ajuda a interpolação com a finalidade do zonamento e fornece dados de *backup* no caso da avaria de um dos equipamentos.

Em muitos casos, está disponível informação histórica para ajudar no planeamento da cobertura de níveis de água. Informação acerca das estações principais e secundárias, assim como dados de marés e níveis de água de levantamentos hidrográficos anteriores, fornecem bons indicadores do número e localização aproximada das estações maregráficas necessárias para uma nova sondagem. Onde não há informação histórica, o planeador tem de estimar os requisitos necessários através da análise dos dados de áreas próximas com características fisiográficas semelhantes. Nestas situações, é mais prudente enganar-se e colocar demasiadas estações do que ser incapaz de fornecer um controlo satisfatório para a área de sondagem completa. Sondagens obtidas com um controlo de marés insuficiente não podem ser corrigidas com dados de equipamentos instalados depois do levantamento.

2.2.3. Zonamento Preliminar de Marés e Níveis de Água

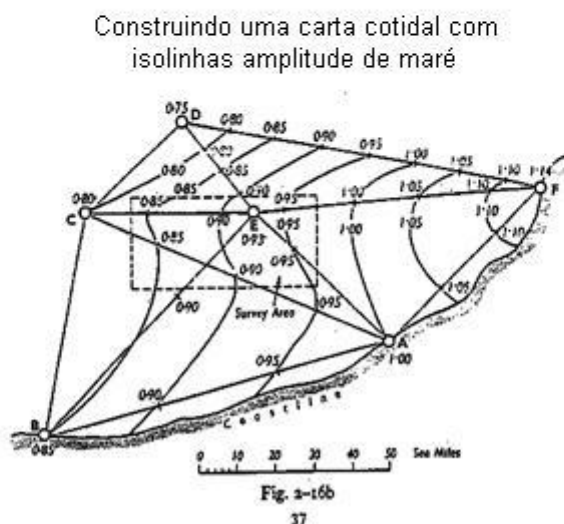
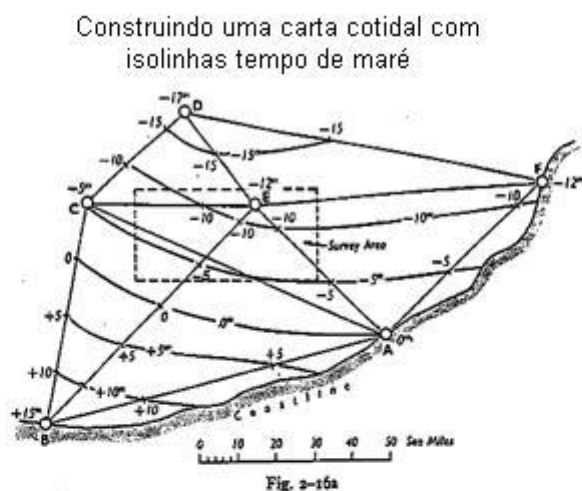
O zonamento de marés e níveis de água é uma ferramenta utilizada para extrapolar ou interpolar as variações da maré ou níveis de água da estação mais próxima da área do levantamento. Muitas vezes, a interpolação ou extrapolação não é necessária e as correções de níveis de água são fornecidas diretamente pelo equipamento de medição de níveis de água que se encontra referido ao *Datum* Cartográfico. Mas na grande maioria dos casos, as estações existentes não se encontram próximas da área do levantamento ou, em termos práticos, não é possível instalar um número suficiente de estações de modo a fornecer um controlo direto em todo o lado. Os erros estimados na extrapolação e interpolação dos níveis de água devem ser equilibrados no balanço total do erro. Quanto maior o número de estações que podem ser instaladas ao longo da área de sondagem, menor será o erro de zonamento. Quanto maior o número de estações necessárias, maior o custo e a complexidade logística das operações.

Qualquer esquema de zonamento requer um estudo oceanográfico das variações do nível da água na área do levantamento. Para áreas com maré, são construídos mapas cotidais do tempo e amplitude da maré baseados em dados históricos, modelos hidrodinâmicos ou outras fontes de informação. As linhas cotidais são utilizadas para delinear zonas geo-espaciais discretas de igual tempo e amplitude de maré baseadas na análise de quão rápido é o progresso da maré em tempo e amplitude numa determinada área de sondagem. Uma vez construídas, podem ser calculadas correções em tempo e amplitude para as estações operacionais apropriadas.

As técnicas descritas acima irão fornecer correções na vizinhança imediata de uma estação maregráfica. Em muitos casos, a área do levantamento estará entre duas ou mais estações maregráficas, cada uma com a sua amplitude de maré diferente. Em tais situações, as correções para a área intermédia têm de ser interpoladas para zonas de correção a partir das estações circundantes. Na maioria dos casos, o zonamento fornecido com a maré prevista será adequado para esta finalidade. Contudo, se o zonamento previsto estiver indisponível ou se verificar

incorreto, o hidrógrafo pode preparar cartas cotidais e cartas de igual amplitude no campo a partir de observações preliminares de níveis de água.

Uma carta cotidal apresenta linhas de igual intervalo lunitidal (fase) referidas a Greenwich. Para o zonamento no campo, as cartas cotidais são geralmente desenhadas de modo a apresentarem linhas de igual tempo de preia-mar ou baixa-mar antes ou depois do instante desse acontecimento na estação maregráfica de referência.

Cartas de isoamplitude de maré apresentam linhas de igual amplitude de maré. Para o uso no campo, as linhas geralmente contêm legendas com as razões relativamente à estação de referência. Estas comparações com o marégrafo de referência facilitam a preparação dos redutores. As Figuras 5.12 e 5.13 são exemplos de cartas cotidais e cartas de isoamplitude de maré para uma baía hipotética na qual foi efetuado um levantamento.

Figuras 5.12 e 5.13

Carta cotidal – As cartas cotidais são geralmente construídas utilizando ferramentas de desenho SIG. <Seguidamente apresenta-se um simples exemplo manual que ilustra alguns dos seus fundamentos. Para construir uma carta cotidal, o hidrógrafo deve representar num gráfico a estação de referência e todas as estações maregráficas secundárias, terciárias e de curta duração presentes na área do levantamento. Para melhores resultados, a área do levantamento deve estar

dentro de um triângulo quase equilátero ou num quadrilátero formado pelas estações maregráficas. Em cada estação, é anotado o tempo de chegada da preia-mar ou baixa-mar antes ou depois do tempo de chegada à estação de referência. Em alguns casos, as diferenças em tempo são as mesmas para a preia-mar e baixa-mar.

Para simplificar, o exemplo referido é apresentado na Figura 5.12. Em muitos casos, contudo, são necessárias cartas cotidais em separado para preia-mares e baixa-mares. Estações adjacentes e opostas são ligadas por linhas retas. Intervalos de tempo ao longo de cada linha são depois interpolados e assinalados. Os segmentos de tempo utilizados dependem da amplitude da maré e da precisão desejada para os redutores. Para a maioria das áreas, 10 minutos é um intervalo adequado a escolher. As marcas de intervalo correspondentes, ao longo de cada linha, encontram-se ligadas por uma curva suave, tal como apresentado na Figura 5.12. Quando dois pontos interpolados entram em conflito, é dada precedência à marca ao longo da linha mais curta e às marcas nas linhas cujas curvas intersectam mais próximo da perpendicularidade. Em muitas situações, as áreas do levantamento são tão complexas que o desenho das linhas de interpolação ligando as estações não é prático e as linhas cotidais são colocadas pelo hidrógrafo utilizando ferramentas SIG.

Cartas de co-amplitude de maré – Tal como se observa na Figura 5.13, a carta é apresentada do mesmo modo que a carta cotidal. Em vez de tempos, são anotadas amplitudes de maré ou razões de amplitude relativamente à estação de referência. Cada linha é interpolada por incrementos, geralmente com amplitude de 0,1 m ou o equivalente incremento em razão. Linhas suaves de igual amplitude são depois desenhadas através dos pontos correspondentes em cada linha, dando prioridade do mesmo modo que as linhas cotidais.

Cartas de zonamento – A carta de zonamento é construída através da sobreposição da carta cotidal na carta de igual amplitude de maré. O hidrógrafo pode depois selecionar as regiões nas quais aplicar os corretores de amplitude e tempo às alturas e tempos da estação de referência. Analisando as Figuras 5.12 e 5.13 verifica-se que as linhas cotidais e as linhas de igual amplitude de maré não são paralelas. Esta diferença em orientação é típica da maioria das áreas e geralmente resulta em zonas de correção com formas irregulares que podem não ser operacionalmente eficientes. Contudo, com o intuito de simplificar os corretores de campo preliminares, o hidrógrafo pode ajustar o tamanho e a forma das zonas onde instalar a estação operacional. Por exemplo, se um sistema de sondagem de linhas este - oeste fosse planeado, seria mais eficiente alterar as zonas para bandas este - oeste ao longo da baía. Torna-se uma questão de bom senso equilibrar as considerações operacionais com a necessidade de exatidão e precisão. Independentemente do zonamento selecionado pelo hidrógrafo no campo, o zonamento final será baseado numa análise completa dos níveis de água observados e será planeado para a exatidão máxima.

Zonamento offshore – Sempre que for impossível, como é o caso das sondagens offshore, envolver a área de levantamento com estações maregráficas, as zonas de níveis de água têm de ser selecionadas com base em mais considerações teóricas. Onde a plataforma continental é larga e a onda de maré aproxima-se paralelamente à costa, tal como acontece em grande parte da costa Este dos Estados Unidos, a maré chegará mais cedo ao largo do que próximo da costa. Noutras costas, tal como na costa oeste dos Estados Unidos, a onda de maré é quase perpendicular à costa com diferenças mínimas em tempo e amplitude ao largo. Para redutores de sondagem ao largo, estimativas das correções em tempo e amplitude a serem aplicadas às estações maregráficas costeiras, podem ser efetuadas a partir de cartas cotidais existentes ou a partir de modelos oceânicos de maré existentes.

2.2.4. Operação da Estação Maregráfica de Controlo

Estações de níveis de água de controlo são aquelas que já têm *Data* aceites e determinados especificamente e que se encontram em funcionamento durante o levantamento. Estas podem ser operadas pela instituição ou país que efetua o levantamento ou podem ser mantidas por outra

entidade. Estas estações de controlo são tipicamente usadas como referência para a previsão de maré, como fontes diretas de redutores de níveis de água durante as operações do levantamento, como uma fonte de controlo de dados à qual os corretores de zonamento são aplicados e de controlo para comparação simultânea com estações de curto período aquando da determinação do *Datum* ou restabelecimento do mesmo. Estas estações de controlo de longo período fazem geralmente parte da rede nacional de estações maregráficas ou de níveis de água de cada nação.

2.2.5. Requisitos das Estações Maregráficas Suplementares

Estas estações são utilizadas para fornecer séries temporais de dados durante as operações de sondagem, referências do *Datum* de marés e zonamento de marés que, no seu conjunto, contribuem para a produção dos redutores finais de níveis de água para áreas específicas do levantamento. A localização e necessidades das estações podem ser modificadas depois do reconhecimento da estação ou à medida da progressão das operações do levantamento.

A duração da aquisição contínua de dados deve ser no mínimo de 30 dias exceto para equipamentos de zonamento. A aquisição de dados deve ser de pelo menos 4 horas antes do início das operações do levantamento hidrográfico até 4 horas depois do fim das operações do levantamento hidrográfico e/ou verificação da linha de costa nas áreas aplicáveis. As estações identificadas como estações de "30 dias" são as estações secundárias "principais" para o estabelecimento do *Datum*, fornecendo redutores de maré para um determinado projeto e para análise harmónica a partir da qual as constantes harmónicas para a previsão de marés podem ser deduzidas. Nestas estações, os dados têm de ser recolhidos ao longo de todo o período do levantamento em áreas específicas requeridas e são necessários nunca menos de 30 dias contínuos para a determinação exata do *Datum* de marés. Adicionalmente, podem também ser necessários marégrafos suplementares e/ou de *backup* dependendo da complexidade da hidrodinâmica e/ou da severidade das condições ambientais na área de projeto.

A instalação de uma estação de medição de níveis de água suplementar deve consistir no seguinte:

a) Instalação de um sistema de medição de níveis de água [sensor(es) de níveis de água, sensores de medição auxiliares (se necessário), uma Plataforma de Recolha de Dados (DCP) ou *data logger* e transmissor satélite (se instalado)] e estrutura de suporte para o DCP e sensor, e uma escala de marés (se necessário).

b) Recuperação e/ou instalação de um número mínimo de marcas de nivelamento e uma ligação do nível entre as marcas de nivelamento e o(s) sensor(es) de níveis de água e uma escala de marés, tal como necessário na instalação e remoção dos equipamentos de medição. Devem igualmente ser efetuadas medições de GPS estático a um conjunto de marcas de nivelamento.

2.2.5.1. Sistemas de Medição de Níveis de Água

2.2.5.1.1. Sensores de Níveis de Água e Plataformas de Recolha de Dados

Existem vários tipos de sensores de níveis de água e configurações da estação possíveis. Diversos tipos de sensores de níveis de água são utilizados por variadíssimos países para apoio a levantamentos hidrográficos. Os Estados Unidos utilizam em áreas com maré sistemas acústicos e sistemas digitais *bubbler* de pressão (ventilados) como equipamentos de controlo e de *backup* respectivamente e estação suplementar e marégrafos de flutuador e contrapeso para as estações de controlo dos Grandes Lagos, ver Figura 5.14. Muitos outros tipos de marégrafos de flutuador e contrapeso e sistemas de pressão internos não ventilados encontram-se instalados em todo o globo.

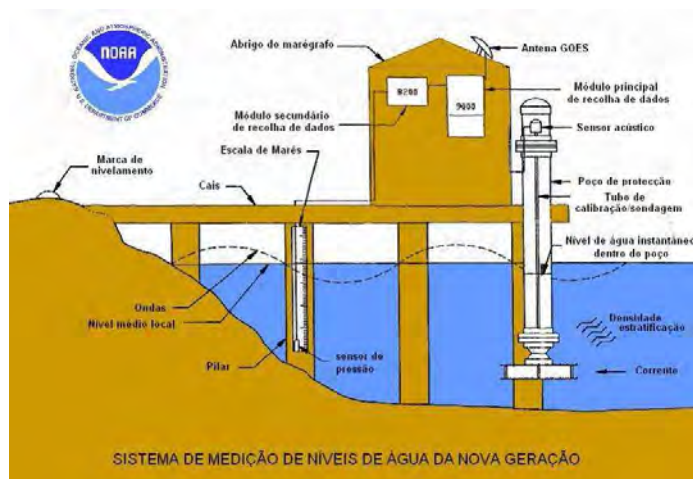



Figura 5.14

A amplitude de medição do sensor deve ser maior do que a amplitude esperada do nível de água. Sistemas de sensores/marégrafos devem ser calibrados anteriormente à instalação e a calibração deve ser verificada após as operações. A exatidão dos critérios de calibração deve ser seguida de acordo com algum padrão nacional ou internacional. A resolução necessária do sensor de níveis de água é uma função da amplitude de maré da área planeada dos levantamentos hidrográficos. Para amplitudes de maré menores ou iguais a 5 m, a resolução necessária do sensor de níveis de água deve ser de 1 mm ou melhor; para amplitudes de maré entre os 5 m e os 10 m, a resolução do sensor deve ser de 3 mm ou melhor; para amplitudes de maré superiores a 10 m, a resolução do sensor deve ser de 5 mm ou melhor.

Os sistemas de aquisição de dados devem adquirir e guardar as medições do nível de água em intervalos de tempo necessários para a classificação das variações significativas dos níveis de água. Os Estados Unidos utilizam para as marés um intervalo de tempo de 6 minutos de modo a assegurar o cálculo da hora das preia-mares e baixa-mares com exatidão ao décimo de hora. Outros intervalos de amostragem mais longos podem ser apropriados para lagos e zonas sem maré, apesar do fato do intervalo de amostragem ter de ser curto o suficiente para medir alguma ação de seichas. Muitos sensores empregam repetições de amostragem (*burst*) em taxas elevadas para fornecer um valor no intervalo de amostragem ou aquisição. Os sistemas da NOAA utilizam uma média de 3 minutos de amostras dos sensores a taxa elevada para determinar um valor com um intervalo de 6 minutos. Os *outliers* estatísticos da amostra e os desvios padrão são depois usados como parâmetros de controlo de qualidade. Os *data loggers* devem ter uma exatidão do relógio dentro de um minuto por mês. As fontes de erro conhecidas para cada sensor devem ser tratadas adequadamente através de medições auxiliares e/ou algoritmos de correção. Exemplos de tais erros são as variações da densidade da água para os marégrafos de pressão, a correção da pressão barométrica para os sistemas não ventilados, diferenças de temperatura do ar na trajetória do som nos sistemas acústicos e ação das ondas de alta frequência e correntes de velocidade elevada para todos os tipos de sensores.

Para aplicações ao *Datum* de marés, é importante que os marégrafos e sensores sofram processos de manutenção cuidadosos através da frequente verificação da calibração ou substituição cíclica de sensores calibrados em instalações de longa duração. O "zero" do sensor deve estar precisamente relacionado, ou com a escala de marés e/ou marcas de nivelamento através de comparações de leituras da escala de marés/marégrafo, ou através de nivelamento direto entre o sensor e as marcas de nivelamento. A estabilidade vertical do "zero" do sensor quer fisicamente quer internamente, tem de ser monitorizada e deve ser tido em consideração qualquer movimento na redução dos dados e determinação do *Datum*.

O hidrógrafo deve instalar uma escala de marés numa estação, se o ponto de medição de referência de um sensor (zero do marégrafo) não pode ser diretamente nivelado em relação às marcas de nivelamento, i.e. o orifício encontrar-se no fundo do mar no caso de marégrafos de pressão. Mesmo que um marégrafo de pressão possa ser nivelado diretamente, as leituras da régua são mesmo assim necessárias para se analisarem as variações no desempenho do marégrafo devido às variações de densidade da coluna de água ao longo do tempo. A escala de marés deve ser montada independentemente do sensor de nível de água de modo a manter a estabilidade da escala ou do sensor. A escala não deve ser montada no mesmo pilar no qual o sensor de nível de água está localizado. A escala de marés deve ser chumbada. Quando duas ou mais escalas de marés são unidas de modo a formar uma régua mais longa, o hidrógrafo deve ter um cuidado extra de forma a assegurar a exatidão da escala ao longo do seu comprimento. A distância entre o zero da escala e o topo da régua deve ser medida antes de a escala ser instalada e depois de ser removida e o topo da régua acima da altura do zero da escala deve ser registado nos formulários de documentação.

2.2.5.1.2. Escalas de Marés

Em áreas com grande amplitude de maré e praias com declive longo (por exemplo: Enseada de Cook e o Golfo de Maine), a instalação e manutenção de escalas de marés pode ser extremamente difícil e dispendiosa. Nestes casos, a instalação física de uma escala(s) de marés pode ser substituída por nivelamentos sistemáticos ao bordo da água da marca de nivelamento mais próxima. A marca de nivelamento torna-se o “topo da régua” e a diferença de cota ao bordo da água torna-se a “leitura da régua”.

Quando se utilizam sensores de pressão, por exemplo, deve ser efetuada no início uma série de comparações do marégrafo/escala de marés, ao longo de uma porção significativa do ciclo de maré, em intervalos frequentes durante a instalação e no fim de uma instalação. As comparações das leituras da escala e do marégrafo, no início e no fim da instalação, devem ser no mínimo em cada três horas de duração e as observações periódicas durante a instalação devem ter a duração de uma hora.

Em geral, o marégrafo e a escala devem ser lidos simultaneamente e registadas as leituras uma vez por dia (no mínimo 3 dias num período de 7 dias) durante a duração das medições de nível da água. A diferença média entre a escala e o marégrafo deve ser aplicada às medições de níveis de água de modo a relacionar os dados com o zero da escala. Comparações frequentes entre marégrafo/escala (pelo menos 3 vezes por semana ou no mínimo 8 vezes por mês) durante a instalação devem ser necessárias para assegurar a estabilidade da medição e para minimizar os erros de processamento. Um número elevado de leituras independentes da escala faz diminuir a incerteza na transferência das medições para o *Datum* da estação e das marcas de nivelamento. Se logisticamente não for prático ter um observador no local da estação maregráfica ou o pessoal de campo não conseguir visitar a estação por o local da sondagem ser distante do marégrafo, então sempre que forem efetuadas visitas, uma amostragem *burst* de várias leituras da escala deve ser efetuada durante um período de algumas horas em vez de uma medição discreta.

No caso da escala de marés for encontrada destruída durante os trabalhos, então deve ser instalada uma nova escala para o período restante da instalação e tem de ser determinada uma nova constante da escala para o marégrafo através de novos conjuntos de observações da escala/marégrafo.

2.2.5.1.3. Nivelamento e Marcas de Nivelamento

Uma rede de marcas de nivelamento é uma parte integrante de qualquer estação de medição de níveis de água. Uma marca de nivelamento é um objeto físico fixo ou monumento para ter estabilidade e utilizado como referência para os *Data* verticais e/ou horizontais. As marcas de nivelamento nas proximidades de uma estação de medição de níveis de água são utilizadas como a referência para os *Data* de marés locais deduzidos a partir dos dados de níveis de água. A

relação entre as marcas de nivelamento e o sensor de nível de água ou a escala de marés é estabelecida através de nivelamento diferencial. Dado que as medições do marégrafo estão referidas às marcas de nivelamento, verifica-se que a qualidade geral dos *Data* é parcialmente dependente quer da qualidade da instalação das marcas de nivelamento, quer da qualidade do nivelamento entre as marcas de nivelamento e o marégrafo.

2.2.5.1.4. Número e Tipos de Marcas de Nivelamento

O número e tipos de marcas de nivelamento necessárias dependem da duração das medições de níveis de água. Tipicamente cada estação tem uma marca de nivelamento designada como a marca de nivelamento principal (PBM), que deveria ser nivelada em cada operação de nivelamento. A PBM é tipicamente a marca mais estável na proximidade da estação maregráfica. A marca de nivelamento mais desejável para observações GPS terá desde 10º acima do horizonte, 360º de desobstrução na horizontal em torno da marca. Se a PBM se verificar instável, uma outra marca deve ser designada como PBM. A data da alteração e a diferença de cota entre a antiga e a nova PBM deve ser registada. Para estações instaladas durante mais de um mês, devem ser cravadas ou recuperadas e niveladas 3 a 5 marcas de nivelamento para cada estação.

2.2.5.1.5. Nivelamento

Devem ser efetuados pelo menos nivelamentos de 3ª ordem em estações secundárias, de curta duração operadas por menos de um ano. Os nivelamentos devem ser efetuados entre o sensor de níveis de água ou a escala de marés e o número necessário de marcas de nivelamento sempre que: a estação de medição de níveis de água é instalada, modificada (i.e. sensor de nível de água arranjado ou substituído), para o caso de nivelamentos de ligação entre marcas, ou antes de ser removida. Em qualquer caso, é necessário efetuar nivelamentos com um intervalo máximo de 6 meses durante o tempo de operação da estação e é recomendado efectuá-los depois de tempestades severas, furacões, terramotos, de modo a documentar a sua estabilidade (ver estabilidade referido abaixo).

Antes da remoção planeada do marégrafo, são necessários nivelamentos de ligação de um número apropriado de marcas (cinco para uma estação de 30 dias no mínimo) se for necessário conhecer as marés para um período de 30 dias ou mais, ou depois de 6 meses para estações que recolhem dados durante projetos hidrográficos de longa duração.

2.2.5.1.6. Estabilidade

Se existir um movimento não determinado do sensor de nível de água ou do zero da escala de marés relativamente à PBM superior a 0,010 m, de um nivelamento para o seguinte, o hidrógrafo deve verificar o movimento aparente efetuando um novo nivelamento entre o zero do sensor ou da escala de marés até à PBM. Este limite de 0,010 m não deve ser confundido com as tolerâncias de fecho utilizadas para a ordem e classe do nivelamento.

2.2.5.1.7. Observações GPS em Marcas de Nivelamento

Devem ser conduzidos levantamentos de GPS estático em cada estação de nível de água secundária instalada/ocupada para hidrografia, num mínimo de uma marca de nivelamento, preferencialmente duas marcas se o tempo e os recursos o permitirem,. Levantamentos de GPS estático devem ser conduzidos em estações de níveis de água simultaneamente com a ocupação de marcas NAVD 88, se possível, de modo a conseguir as transferências de *Datum* de níveis de água, utilizando alturas ortométricas deduzidas por GPS.

Em levantamentos com GPS diferencial estático de alta precisão é requerido um receptor GPS com qualidade geodésica, dupla frequência, com um mínimo de 10 canais para busca de satélites GPS. Uma antena de anel é preferível, contudo, qualquer antena plana de solo de qualidade geodésica pode ser utilizada. Mais importante que o tipo de antena, i.e., antena de anel ou antena plana de solo, é o fato das mesmas antenas ou antenas idênticas terem que ser utilizadas durante todas as sessões de observação. Caso contrário, tem de ser aplicada uma correção para a diferença

dos padrões de fase das antenas (padrões de fase modelados). Isto é extremamente crítico para se obterem resultados verticais precisos. O comprimento do cabo da antena entre a antena e o receptor deve ser mantido num tamanho mínimo sempre que possível; 10 m é o comprimento típico do cabo da antena. Se for necessário um comprimento de cabo maior, o cabo deve ser fabricado a partir de cabos coaxiais de perdas reduzidas (RG233 até 30 metros e RG214 para mais de 30 metros).

A marca de nivelamento mais desejável para observações GPS terá desde 10º acima do horizonte, 360º de visibilidade horizontal em torno da mesma. Marcas recentemente cravadas devem ser colocadas sempre que possível em locais que tenham a visibilidade requerida.

Se disponíveis, devem ser recolhidos dados meteorológicos (temperatura do ar, pressão barométrica e umidade relativa), aquando das observações GPS. Os dados meteorológicos devem ser recolhidos no centro de fase da antena ou próximo deste. Devem, ainda, ser verificadas periodicamente as calibrações do equipamento.

2.2.5.2. Documentação da Estação Maregráfica

Documentação associada a uma estação maregráfica:

a) Instalação da estação;

b) Desempenho dos nivelamentos de ligação/confirmação das marcas;

c) Reparação e manutenção dos marégrafos;

d) Remoção da estação.

A documentação da estação geralmente inclui, mas não é limitada aos seguintes:

a) Documentação dos testes de calibração proveniente de uma fonte independente que não o fabricante, para cada sensor utilizado para recolher níveis de água ou dados auxiliares;

b) Um relatório da estação que documente a configuração da estação e os meta dados associados;

c) Uma secção de cartas náuticas novas ou atualizadas, ou mapas equivalentes que indiquem a localização exata da estação, com a indicação do número da carta ou nome do mapa e indicação da escala apresentada;

d) Um desenho a grande escala do local da estação e um ficheiro digital SIG compatível, fornecido numa disquete, e que mostre a localização relativa do marégrafo, escala de marés (se existir), marcas de nivelamento e objetos de referência principais encontrados na descrição das marcas de nivelamento. O desenho deve incluir uma seta que indique a direção norte, um cabeçalho, latitude e longitude (obtida a partir de GPS portátil) do marégrafo e de todas as marcas de nivelamento;

e) Uma descrição nova ou atualizada de como chegar à estação a partir de um local geográfico conhecido;

f) Fotografias dos componentes da estação e das marcas de nivelamento. Fotografias digitais são preferíveis. No mínimo, as fotografias devem mostrar uma vista do sistema de medição do nível de água tal como instalado, incluindo os sensores e o abrigo do marégrafo; uma vista de frente da escala de marés (se instalada); diversas vistas da zona envolvente e outras vistas necessárias para documentar a localização do marégrafo; fotografias de cada uma das marcas de nivelamento, incluindo uma vista da localização e

aproximações que mostrem as inscrições nas marcas. Todas as fotografias devem estar registadas com o nome da estação, número, localização e data da fotografia;

g) Notas da descrição/recuperação da marca de nivelamento;

h) Relatório do nivelamento e resumo do mesmo, incluindo informação acerca do equipamento utilizado no nivelamento;

i) Folha de cálculo utilizada na determinação do *offset* do *Datum* ou folha de cálculo da diferença escala/marégrafo demonstrando como o “zero” do sensor se encontra relacionado com as marcas de nivelamento.

2.2.6. Processamento de dados e Disposição em Tabelas

2.2.6.1. Controlo de Qualidade dos Dados

O produto resultante, utilizado na geração dos redutores de maré e na determinação do *Datum* de marés, é uma série temporal contínua de dados de níveis de água de intervalo discreto para o período de tempo desejado para hidrografia e um período de tempo mínimo especificado a partir do qual se deduz os *Data* de maré. (Nota: este intervalo de tempo discreto é tipicamente entre 6 a 10 minutos mas para este exemplo serão considerados 6 minutos.) Os dados de níveis de água com um intervalo de 6 minutos, obtidos a partir dos marégrafos, devem sofrer um processo de controlo de qualidade que detecte dados inválidos e suspeitos como revisão final anterior à geração do produto e respectiva aplicação. Isto inclui a detecção de falhas nos dados, descontinuidades, variações do *Datum*, dados anómalos, dados fora das tolerâncias esperadas, tais como valores máximos e mínimos esperados, e tendências anómalas nas elevações devido à variação do sensor ou movimentação vertical dos componentes da estação maregráfica e das marcas de nivelamento.

O controlo de qualidade deve incluir comparações com dados simultâneos de marégrafos de *backup*, marés previstas ou dados de estações próximas, tal como se verifique mais apropriado. A edição de dados e a geração de dados em falta devem usar algoritmos e procedimentos matemáticos documentados e devem ser utilizados mecanismos de verificação de modo a encontrar todas as modificações e edições aos dados observados. Todos os dados inferidos devem ser apropriadamente assinalados com *flags*. As medições de níveis de água de cada estação devem estar referidas a um único *Datum* comum denominado de *Datum* da Estação. O *Datum* da Estação é um *Datum* arbitrário e não deve ser confundido com um *Datum* da maré como a BMIm. Todas as descontinuidades, saltos ou outras variações do registo do marégrafo (ver o manual do utilizador do marégrafo), que podem ser devido ao movimento vertical do marégrafo, escala de marés ou marcas de nivelamento, devem ser convenientemente documentados. De modo a evitar erros de fuso todos os dados devem ser registados em UTC (Tempo Universal Coordenado – também conhecido como o Tempo Médio de Greenwich – GMT) e as unidades de medida devem ser indicadas de forma apropriada em formato informático e em ficheiros digitais.

2.2.6.2. Processamento de Dados e Disposição da Maré em Tabelas

Os dados de níveis de água contínuos com um intervalo de amostragem de 6 minutos são usados para gerar as tabelas de dados de maré usuais. Estas tabelas incluem os tempos e alturas de preia-mares e baixa-mares, alturas horárias, níveis de água máximos e mínimos mensais e valores médios mensais para os parâmetros desejados. Exemplos destas tabelas podem ser encontrados na Figura 5.15. Os tempos e alturas das preia-mares e baixa-mares devem ser deduzidos a partir de um ajustamento adequado de uma curva aos dados de 6 em 6 minutos. Com a finalidade de efetuar tabelas de preia-mares e baixa-mares e não do ruído de alta-frequência não associado à maré, preia-mares e baixa-mares sucessivas não devem ser dispostas em tabelas a não ser que sejam apropriadamente deduzidas. As alturas horárias devem ser obtidas a partir de cada valor de 6 minutos observado à hora certa. O nível médio do mar mensal e o nível de água médio mensal devem ser calculados a partir da média das alturas horárias de cada mês. Os dados devem ser

tabelados relativamente a um *Datum* da estação consistente e documentado, tal como o zero da escala de marés, um *Datum* da estação arbitrário, ou BMIm, etc. durante a duração das observações de maré. Em *Tide and Current Glossary, Manual of Tide Observations and Tidal Datum Planes* podem ser encontradas descrições de procedimentos gerais utilizados na disposição de dados de marés em tabelas.

2.2.6.3. Edição de Dados e Especificações Acerca do Preenchimento de Lacunas

Quando os dados de um sensor secundário (de *backup*) não estão disponíveis, as lacunas nos dados de 6 minutos não devem ser preenchidas se estas forem superiores a três dias consecutivos. O preenchimento de lacunas nos dados deve utilizar procedimentos e algoritmos cientificamente e matematicamente documentados e um método de verificação/detecção deve ser utilizado de modo a encontrar todos os preenchimentos de lacunas efetuados nos dados observados. As lacunas com menos de 3 horas podem ser inferidas utilizando técnicas de interpolação e de ajustamento de curvas. As lacunas superiores a 3 horas devem utilizar fontes de dados externas, tal como dados de uma estação maregráfica próxima. Todos os dados obtidos através de procedimentos de preenchimento de lacunas devem ser marcados como inferidos. As alturas horárias, preia-mares e baixa-mares, e médias diárias calculadas a partir de dados inferidos, devem também ser consideradas como inferidas.

2.2.6.4. Determinação de Médias Mensais

Quando a disposição em tabelas dos dados de maré engloba períodos de tempo mensais, médias mensais dos diversos parâmetros da maré são calculadas com a finalidade da determinação do *Datum* da maré e para o controlo de qualidade de conjuntos de dados de longo período. Por exemplo, o nível médio do mar mensal é um parâmetro importante na compreensão de tendências do nível do mar de longo período e de variações sazonais nos níveis de água. Com a finalidade de cálculos de médias mensais, as médias mensais não devem ser calculadas se as lacunas nos dados forem superiores a três dias consecutivos.

Jan 28 2003 08:24 DADOS DE PREIA-MARES E BAIXA-MARES Outubro, 2002
National Ocean Service (NOAA)
Estação: 8454049 T.M.: 0 W
Nome: QUONSET POINT, RI Unidades: Metros
Tipo: Mista *Datum*: *Datum* da estação
Nota: > Higher-High/Lower-Low [] Maré Inferida Quality: Verificada

	Preia-mar		Baixa-mar			Preia-mar		Baixa-mar	
Dia	**Tempo**	**Altura**	**Tempo**	**Altura**	**Dia**	**Tempo**	**Altura**	**Tempo**	**Altura**
1	7.5	8.037	2.4	7.326	16	<9.7	[8.292]	2.6	7.394
	<20.2	8.071	<12.9	7.197		<21.3	8.782	14.6	7.563
2	8.8	8.000	2.6	7.173	17	10.6	8.345	<6.0	7.470
	<21.4	8.176	<14.3	7.066		<22.8	8.323	<15.4	7.245
3	9.5	8.233	3.2	7.157	18	10.7	8.257	4.0	7.248
	<22.3	8.314	<15.6	7.049		23.3	8.230	16.7	7.196
4	10.5	8.525	4.1	7.163	19	<11.8	8.296	<4.3	7.140
	<23.1	8.599	<16.3	7.057		<23.4	8.292	17.1	7.204
5	<11.5	8.632	4.4	7.109	20			<5.0	7.066
	23.8	8.466	<17.1	6.873		12.4	8.209	<17.5	6.994
6			<5.8	6.670	21	0.4	[8.128]	5.8	7.036
	12.2	8.477	18.2	6.832		<12.8	8.297	18.1	7.090
7	<0.5	8.582	<6.4	6.961	22	0.9	8.142	<6.5	6.999
	<13.3	8.819	19.2	6.969		<13.4	8.216	19.0	7.040
8	1.3	8.457	6.9	6.888	23	1.4	[8.075]	<6.9	7.013
	<14.0	8.644	<20.1	6.877		<13.7	[8.180]	<19.1	6.915
9	2.3	8.355	<7.9	6.852	24	2.1	7.934	7.3	6.969
	<14.9	8.631	20.9	6.986		<14.7	8.164	19.9	7.093
10	3.4	8.316	<8.2	6.969	25	2.9	[7.993]	<8.0	7.047
	<15.8	8.497	21.2	7.086		<15.4	8.156	<20.3	7.136
11	4.3	8.240	<9.4	7.129	26	3.8	[8.061]	8.3	7.204
	<16.7	8.455	22.1	7.305		<16.2	8.607	23.5	7.389
12	5.2	8.295	<10.3	7.380	27	4.6	7.974	<9.1	7.090
	<17.7	8.462				<17.1	8.216	21.9	7.348
13	5.9	8.266	0.5	7.481	28	5.4	7.860	<10.5	7.064
	<18.7	8.344	11.8	7.461		<17.9	8.008		
14	6.8	8.077	<2.2	7.401	29	6.2	7.949	1.5	7.243
	<20.1	8.161	<12.7	7.190		<18.6	8.042	<11.6	7.109
15	8.3	8.156	2.0	7.349	30	7.3	[8.052]	<1.5	7.197
	20.9	8.273	<14.1	7.344		<20.0	[8.154]	13.0	7.211
					31	8.3	8.215	2.1	7.239
						<20.7	8.290	<14.1	7.222

Preia-mar máxima: 8.819 13.3 Hrs Oct 7 2002
Baixa-mar mínima: 6.670 5.8 Hrs Oct 6 2002

Médias mensais:						
	MHHW	8.357				
	MHW	8.272	DHQ	0.085		
	MTL	7.707	GT	1.266	HWI	0.42 Hrs
	DTL	7.724	MN	1.131	LWI	6.13 Hrs
	MSL	7.668				
	MLW	7.141	DLQ	0.050		
	MLLW	7.091				

Figura 5.15 "Exemplo da Disposição em Tabelas da Maré de um mês"

2.2.7. Determinação de *Data* de Maré

Um *Datum* vertical é chamado *Datum* de marés quando é definido para uma determinada fase da maré. Os *Data* de maré são *Data* locais e não devem ser estendidos a áreas que têm características hidrográficas diferentes sem medições que o fundamentem. De modo a serem recuperados sempre que necessário, tais *Data* estão referidos a pontos fixos conhecidos como marcas de nivelamento.

Procedimentos básicos:

a) Execução de Observações – Os *Data* de maré são calculados a partir de observações contínuas do nível de água durante um período de tempo específico. As observações são efetuadas em locais específicos denominados de estações maregráficas. Cada estação maregráfica consiste num marégrafo ou sensor(es) de nível de água, numa plataforma de recolha de dados de maré ou *data logger*, num sistema de transmissão de dados e num conjunto de marcas de nivelamento colocadas na proximidade da estação maregráfica. O *US National Ocean Service* (NOS) recolhe dados de níveis de água em intervalos de 6 minutos.

b) Disposição da Maré em Tabelas – Assim que as observações de níveis de água passarem por processos de controlo de qualidade e quaisquer pequenas lacunas estiverem preenchidas, os dados são processados através da disposição em tabelas das preia-mares e baixa-mares e alturas horárias de cada dia. Os parâmetros de maré destas tabelas diárias da maré são depois reduzidos a valores médios, tipicamente na base de um mês para registos de longo período ou durante alguns dias ou semanas para registos mais curtos.

c) Cálculo de *Data* de Maré – A redução inicial de *Data* de maré é determinada diretamente através dos valores médios dos parâmetros da maré durante um ciclo de 19 anos NTDE (*National Tidal Datum Epoch*). *Data* de maré NTDE equivalentes são calculados a partir de estações maregráficas que operam por períodos de tempo mais curtos através da comparação de dados simultâneos da estação de curta duração e a estação de longa duração.

d) Determinação da Cota das Marcas de Nivelamento – Uma vez calculados os *Data* de maré através das tabelas, as cotas são transferidas para as marcas de nivelamento cravadas no chão durante a operação da estação através das diferenças de cota dadas através de nivelamento diferencial entre o “zero” do marégrafo e as marcas de nivelamento. As cotas e descrições das marcas de nivelamento são divulgadas pela NOS através da publicação de uma folha de marcas de nivelamento para cada estação. As relações entre as elevações do *Datum* de marés e as elevações geodésicas são obtidas depois do nivelamento entre as marcas de nivelamento associadas ao marégrafo e as marcas da rede geodésica. Tradicionalmente, isto tem sido efetuado utilizando nivelamento diferencial, contudo técnicas de levantamento GPS podem, também, ser usadas (NGS, 1997).

As localizações das estações maregráficas encontram-se organizadas numa hierarquia:

a) <u>Estações maregráficas de controlo</u> são geralmente aquelas que têm estado em funcionamento ao longo de 19 anos ou mais, espera-se que continuem a funcionar no futuro e que são utilizadas para obter um registo contínuo de níveis de água num determinado local. Estações maregráficas de controlo estão localizadas de modo a fornecerem um controlo do *Datum* para aplicações nacionais e encontram-se localizadas em tantos locais quantos os necessários de modo a efetuar esse controlo.

b) <u>Estações de níveis de água secundárias</u> são aquelas que estão em funcionamento há menos de 19 anos mas há mais de um ano e têm um tempo de vida finito. As estações secundárias fornecem o controlo em baías e estuários onde efeitos localizados da maré não são observados na estação de controlo mais próxima. As observações numa estação

secundária não são geralmente suficientes para uma determinação independente e precisa dos *Data* de maré, mas quando reduzidas por comparação com observações simultâneas de uma estação maregráfica de controlo adequada, podem ser obtidos resultados muito satisfatórios.

c) Estações de níveis de água terciárias são aquelas que estão operacionais durante mais de um mês mas menos de um ano. Estações de medição de níveis de água de curto período (secundárias ou terciárias) podem ter os seus dados reduzidos aos *Data* de marés de 19 anos através da comparação matemática simultânea com estações de controlo próximas.

As estações maregráficas de controlo (ou primárias), estações secundárias ou estações terciárias encontram-se localizadas em locais estratégicos de modo a ter uma cobertura de rede. O critério de seleção do local inclui a cobertura espacial de variações significativas nas características da maré, tais como: alterações no tipo de maré, alterações na amplitude de maré, variações dos tempos da maré, variações do nível médio diário e alteração das tendências de longo período do nível médio do mar. Outros critérios incluem a cobertura de áreas de navegação críticas e zonas de transição, sítios históricos, proximidade à rede geodésica e a disponibilidade de estruturas existentes, tais como molhes adequados para a localização de equipamento científico.

Procedimentos para a Comparação Simultânea:

Conceptualmente, em estações de curto período, os seguintes passos devem ser executados de modo a calcular os *Data* de maré NTDE equivalentes, utilizando o método de comparação de observações simultâneas:

a) Selecione o período de tempo a partir do qual a comparação simultânea será efetuada;

b) Selecione a estação maregráfica de controlo apropriada para a estação secundária de interesse;

c) Obtenha dados simultâneos das estações de controlo e secundária e obtenha ou registe em tabela as marés e determine médias mensais;

d) Obtenha os valores aceites (relativamente ao NTDE nos EUA, por exemplo) dos *Data* de maré na estação de controlo;

e) Determine as diferenças médias e/ou razões dos parâmetros da maré entre as estações de controlo e secundária durante o período de comparação simultânea;

f) Aplique as diferenças médias e os quocientes calculados no passo e) aos valores aceites da estação de controlo de modo a obter valores NTDE equivalentes ou corrigidos para a estação secundária.

Determinação da Cota das Marcas de Nivelamento:

Assim que os *Data* de maré forem determinados a partir das tabelas, as cotas são transferidas às marcas de nivelamento cravadas no chão, através das diferenças de elevação obtidas por nivelamento diferencial entre o “zero” do sensor do marégrafo e as marcas de nivelamento, durante o período de operação da estação (*NOS Specifications and Deliverables*, 2000). As ligações entre as elevações do *Datum* de marés e as elevações geodésicas são obtidas depois do nivelamento entre as marcas de nivelamento associadas ao marégrafo e as marcas de nivelamento da rede geodésica. Tradicionalmente, isto tem sido efetuado através de nivelamento diferencial, contudo técnicas de levantamento GPS podem, também, ser utilizadas (NGS, 1997).

2.2.7.1. Recuperação do *Datum* de Maré

Sempre que são instaladas estações maregráficas em locais históricos, devem ser tomadas medidas de modo a "recuperar" os *Data* de maré estabelecidos através de nivelamentos. Isto pode ser conseguido através da ligação do "zero" do marégrafo ou da escala de marés a mais de uma marca de nivelamento, com a elevação de maré associada publicada. Através deste processo, a elevação publicada da BMIm é transferida através de diferenças de nível ao "novo" marégrafo ou escala de marés e comparada com a elevação da BMIm determinada a partir dos dados novos no mesmo "zero". Os fatores que afetam a recuperação do *Datum* (i.e. diferenças entre os *Data* antigo e o recentemente determinado) incluem: o comprimento de cada série de dados utilizada para determinar os *Data*, a localização geográfica, as características da maré na região, a duração de tempo entre reocupações, as tendências de variação do nível do mar na região e a estação de controlo utilizada. Baseada em todos estes fatores, a recuperação do *Datum* pode variar entre +/- 0,03 m e +/- 0,08 m. Portanto, este processo também serve como um procedimento de controlo de qualidade muito útil. Depois de ter sido efetuada uma recuperação bem sucedida do *Datum* e a estabilidade da marca de nivelamento ter sido verificada, o valor histórico da Baixa-Mar Inferior média (BMIm) deve ser utilizado como o *Datum* de referência operacional para dados do marégrafo durante as operações do levantamento hidrográfico.

2.2.7.2. Controlo de Qualidade dos *Data*

É essencial para o controlo de qualidade do *Datum* de marés que existam procedimentos de nivelamento e de processamento de dados levados a cabo até à sua extensão máxima. Deve-se ter também algum cuidado na determinação de *Data* de maré em sistemas fluviais ou em regiões de regimes de maré desconhecidos. Comparações da maré a partir de dados de estações secundárias e de controlo detectam frequentemente diferenças anómalas que devem ser averiguadas de modo a se detectar possíveis funcionamentos anómalos dos marégrafos ou movimentos do sensor. Os *Data* devem ser estabelecidos a partir de mais de uma marca de nivelamento. As diferenças de cota entre as marcas de nivelamento baseadas no novo nivelamento devem concordar com as diferenças anteriormente estabelecidas nas folhas de marcas de nivelamento publicadas. Quaisquer variações nas diferenças de elevação têm de ser reconhecidas antes de serem utilizadas em qualquer procedimento de recuperação do *Datum*. A exatidão do *Datum* numa estação secundária depende de vários fatores, mas a disponibilidade e escolha de uma estação de controlo adequada de características de maré semelhantes, nível médio diário e variações sazonais do nível médio do mar semelhantes e tendências do nível médio do mar semelhantes, são as mais importantes. O tamanho da série também influencia a exatidão. Quanto maior a série, maior a exatidão do *Datum* e maior o controlo de qualidade e o grau de confiança ganho a partir da análise de numerosas diferenças médias mensais entre a estação secundária e a de controlo. Em estações históricas reocupadas para as quais a recuperação do *Datum* foi efetuada, os *Data* atualizados devem ser determinados a partir das novas séries temporais e comparados com os *Data* históricos à medida que o levantamento progride.

2.2.7.3. Relações com *Data* Geodésicos

Os *Data* de maré são *Data* verticais locais que podem variar consideravelmente dentro de uma área geográfica. Um *Datum* geodésico é um plano fixo de referência para o controlo vertical das elevações da terra. O *Datum* Vertical Norte-americano de 1998 (NAVD88) é o *Datum* geodésico de referência do *U.S. National Geodetic Spatial Reference System* e é oficialmente mantido pelo *National Geodetic Survey* (NGS) através de uma rede de estações de referência GPS em operação de forma contínua. A relação entre os *Data* de maré e o NAVD tem bastantes aplicações hidrográficas, de mapeamento costeiro e de engenharia, incluindo a monitorização da variação do nível do mar e a utilização de sistemas de informação e de visualização de cartas eletrónicas por GPS, etc. Em alguns países, o *Datum* local do Nível Médio do Mar (NMM) tem sido confundido ao longo do tempo com o *Datum* de referência geodésico nacional dado que os *Data* geodésicos foram originalmente deduzidos a partir de medições do NMM nos marégrafos. Contudo, como o nível do mar relativo tem vindo a modificar-se devido aos movimentos verticais da crosta e ao aumento global do nível do mar, os *Data* geodésicos começaram a distanciar-se do NMM

oceanográfico local. O NAVD88, por exemplo, utilizou apenas uma estação maregráfica como referência inicial e não é considerado um *Datum* correlacionado do NMM.

Devem ser detectadas e recuperadas marcas geodésicas existentes na vizinhança duma estação maregráfica secundária. Uma rotina de busca encontra-se disponível em **http: //www.ngs.noaa. gov**. É necessário efetuar uma ligação entre as alturas ortométricas e as alturas elipsóidais numa estação maregráfica secundária que tem marcas de nivelamento geodésicas nas proximidades. Elevações NAVD 88 publicadas para marcas de nivelamento são dadas em unidades de altura ortométrica Helmert pelo NGS. As exatidões das alturas elipsoidais das redes GPS são classificadas de acordo com as exatidões padrão de 2 cm ou 5 cm (ver *NOAA Technical Memorandum NOS NGS-58*). Atualmente, as alturas elipsoidais, de acordo com os padrões de exatidão de 2 cm, são necessárias para contratos de projetos de levantamentos hidrográficos. Ver a Secção 4.2.8 Observações GPS e o *User"s Guide for GPS Observations*, NOAA/NOS, atualizado em Janeiro de 2003.

Uma ligação de nível ortométrica é preferível relativamente a uma ligação GPS elipsoidal, sempre que aplicável, de modo a deduzir as alturas NAVD 88. Uma ligação de nível ortométrica é necessária se algumas marcas geodésicas (até às cinco marcas) se encontram dentro de um raio de 0,8 km a partir do local da estação maregráfica secundária. Se as marcas consideradas adequadas forem encontradas na base de dados do NGS, e estão mais afastadas que 0,8 km mas menos do que 10 km de uma estação maregráfica secundária, então é necessária uma ligação GPS de forma a deduzir as alturas elipsoidais. Se não forem encontradas um mínimo de cinco marcas de nivelamento num raio de 1 km do local duma estação maregráfica secundária, ou não forem encontradas marcas geodésicas adequadas na base de dados do NGS num raio de 10 km de uma estação secundária, então devem ser instaladas, descritas e ligadas em nível, cinco novas marcas de nivelamento e devem ser efetuadas observações GPS em pelo menos uma das cinco marcas. (Ver *User"s Guide for Writing Bench Mark Descriptions, NOAA/NOS,* atualizado em Janeiro de 2002, *User"s Guide for GPS Observations*, NOAA/NOS, atualizado em Janeiro de 2003 e a Secção 4.2.8 Observações GPS). Com a finalidade de efetuar controlo de qualidade, pelo menos duas marcas geodésicas devem ser usadas para validar o nivelamento ou a ligação das alturas elipsoidais.

2.2.8. Zonamento Final e Redutores da Maré

Os dados, referidos à BMIm, de estações secundárias instaladas especialmente para o levantamento, ou de estações de controlo primárias existentes, devem ser utilizados de forma a reduzir os dados da sondagem ao *Datum* cartográfico, diretamente ou indiretamente através de uma técnica de correção denominada de zonamento das marés. As séries de dados temporais, quer corrigidas quer diretas, referidas à BMIm ou a outro DBM aplicado a levantamentos hidrográficos de referência ao *Datum* cartográfico, são denominadas como “redutores da maré” ou “redutores de níveis de água”.

2.2.8.1. Construção de Esquemas Finais de Zonamento de Marés

Como as características da maré variam espacialmente, os dados dos marégrafos instalados podem não ser representativos dos níveis de água ao longo da área de sondagem. O zonamento de marés deve ser utilizado para facilitar o fornecimento de séries temporais de níveis de água relativamente ao *Datum* cartográfico para qualquer ponto dentro da área do levantamento, de tal modo que os requisitos de exatidão necessários sejam mantidos na componente de medição dos níveis de água do levantamento hidrográfico. A NOS utiliza atualmente o método de “zonamento de marés discreto”, onde as áreas do levantamento são divididas num esquema de células delimitadas com características comuns de maré. O requisito mínimo é uma nova célula para cada variação de 0,06 m na amplitude média da maré e uma progressão no tempo da maré de 0,3 horas (intervalos de preia-mar e baixa-mar de Greenwich). As correções em fase e amplitude para os dados das estações maregráficas devem ser aplicadas em cada uma das células.

O zonamento preliminar, que é baseado nos dados maregráficos históricos disponíveis e em modelos globais e estuarinos da maré, encontra-se referido a uma estação de referência com previsões para utilização durante os trabalhos de campo. Para o processamento final, o zonamento preliminar deve ser sucedido pelo "zonamento final", que é um refinamento baseado em novos dados recolhidos em estações secundárias durante o levantamento. Para o esquema de zonamento final, os corretores para cada zona devem ser deduzidos de uma estação secundária especialmente instalada para o levantamento, em vez de uma estação de referência utilizada no zonamento preliminar. Os erros de zonamento devem ser minimizados de modo a que quando combinados com erros de medições de níveis de água no marégrafo e erros na redução ao *Datum* cartográfico, o erro total dos redutores de maré esteja compreendido dentro de tolerâncias especificadas. O esquema de zonamento final e todos os dados utilizados no seu desenvolvimento devem ser documentados e registados.

2.2.8.2. Ficheiros de Redução da Maré e Nota Final acerca de Marés

As séries temporais de dados validados recolhidos em estações secundárias são referidas ao NTDE Baixa-Mar Inferior média (*Datum* Cartográfico) através de procedimentos computacionais do *Datum*. As séries temporais de dados recolhidos em intervalos de seis minutos e reduzidos ao *Datum* cartográfico, tal como referido, provenientes de marégrafos subordinados em operação durante o levantamento, devem ser utilizados diretamente ou corrigidos através do uso de um esquema de zonamento, de modo que os redutores de maré estejam dentro de tolerâncias especificadas. Uma Nota Final Acerca da Maré deve ser registada em cada folha hidrográfica com a informação de qual o zonamento da maré final que deve ser aplicado e a que estações, para obter os redutores da maré finais. Um exemplo da Nota Final Acerca da Maré e do gráfico de zonamento da maré final encontram-se nas Figuras 5.16 e 5.17, respectivamente.

Data: Dezembro 22, 1999
SEVIÇO HIDROGRÁFICO: Pacífico
PROJECTO HIDROGRÁFICO: OPR-P342-RA-99
FOLHA HIDROGRÁFICA: H-10910
LOCAL: 6 NM Noroeste do Cabo Kasilof, AK
PERÍODO DE TEMPO: 22 Julho – 20 Agosto, 1999
ESTAÇÃO MAREGRÁFICA UTILIZADA: 945-5711 Cabo Kasilof, AK
Lat. 60º 20.2"N Lon. 151º 22.8"W
PLANO DE REFERÊNCIA (BAIXA-MAR INFERIOR MÉDIA): 0.000 metros
ALTURA DA PREIA-MAR ACIMA DO PLANO DE REFERÊNCIA: 5.850 metros
NOTAS: ZONAMENTO RECOMENDADO
Zona(s) utilizadas identificadas como: CK394, CK395, CK399, CK400, CK401, CK407, CK408, CK409, CK434, CK435, CK441, CK442, CK443, CK467, CK468, CK469, CK470, CK477, CK480, CK481, CK482, CK483, CK493 & CK494.
Ver anexos para informação acerca do zonamento.
Nota 1: A série temporal de dados fornecida encontra-se tabelada em unidades métricas (Metros), relativamente à BMIm e em Tempo Médio de Greenwich.
Nota 2: Nikiski, AK serviu como *Datum* de controlo para as estações secundárias e para o zonamento de marés neste levantamento hidrográfico. Os *Data* aceites para esta estação foram atualizados recentemente e verificou-se que mudaram de uma forma significativa relativamente aos valores anteriores.
A atual Época do *Datum* de Marés Nacional (NTDE) utilizada para calcular os *Data* de marés nas estações maregráficas é a 1960-78 NTDE. Tradicionalmente, NTDEs têm sido ajustados quando alterações significativas nas tendências do nível médio do mar (NMM) foram encontradas através da análise das estações da Rede Nacional de Observação de Níveis de Água (NWLON). As épocas são atualizadas de modo a assegurar que os *Data* de marés são os mais exatos e práticos para a navegação, sondagem e para aplicações na área da engenharia e que refletem as condições locais existentes do nível do mar. Por exemplo, a análise das tendências do nível do mar demonstra que é necessário um novo NTDE e esforços estão a ser efetuados no sentido de atualizar o 1960-78 NTDE para um período mais recente de 19 anos.

Nota: Este exemplo da Nota de Campo da Maré e Carta de Zonamento Final da Maré foi escrito em Dezembro de 1999; nessa altura o NTDE era de 1960-1978, agora o novo NTDE é de 1983-2001.

Figura 5.16 "NOTA FINAL ACERCA DA MARÉ e CARTA DE ZONAMENTO FINAL DA MARÉ"

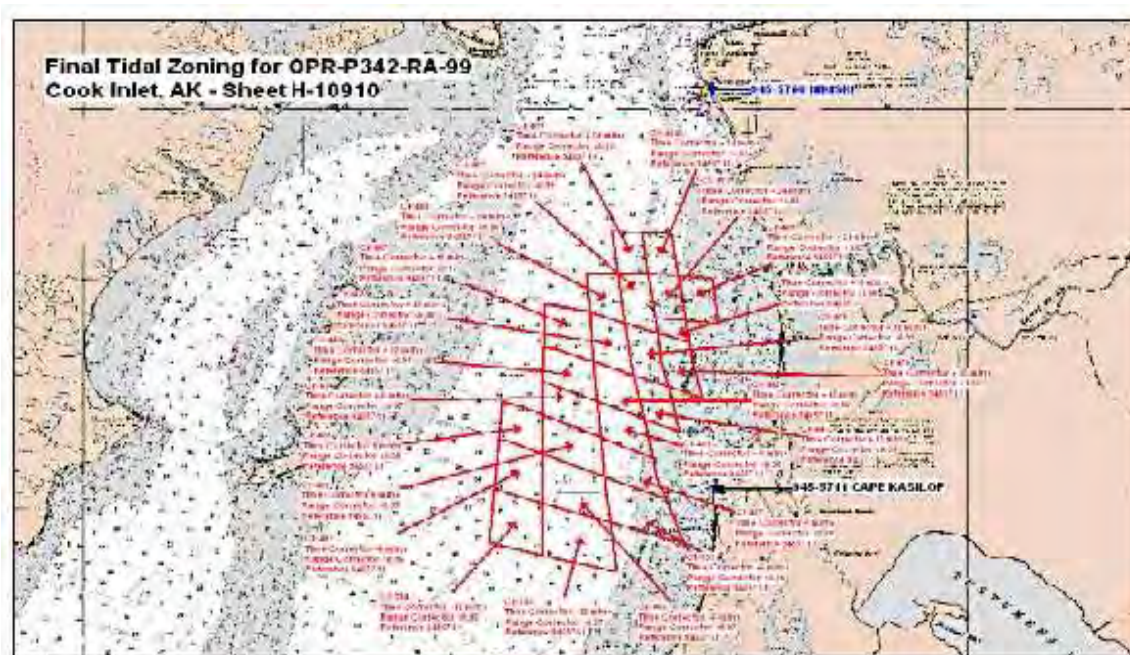



Figura 5.17

As medições finais de níveis de água observados devem ser registadas como alturas em metros com três casas decimais (i.e. 0,001 m). Todas as alturas devem estar referidas ao *Datum* da estação e a UTC. A série temporal final de dados redutores da maré deve ser referida à BMIm e a UTC.

Os dados brutos originais de níveis de água, assim como os corretores utilizados para converter os dados ao *Datum* cartográfico, devem ser guardados até nota escrita em contrário ou durante pelo menos dois anos depois do levantamento ter sido efetuado. Todos os algoritmos e conversões utilizados para obter os corretores devem ser convenientemente justificados pelas calibrações, manutenção da documentação, registos dos nivelamentos e práticas de engenharia/oceanográficas de sondagem. Os sensores de medições que convertem dados (i. e. pressão para alturas) devem ser calibrados e deve ser efetuada a sua avaliação de condição para o período completo de recolha de dados.

2.2.9. Utilização de GPS cinemático para o Controlo Vertical

A tecnologia baseada em GPS em modo cinemático para o controlo vertical dos levantamentos hidrográficos está a tornar-se uma prática cada vez mais comum depois de ter estado em fase de estudo durante vários anos. O GPS cinemático é uma forma de posicionamento diferencial de precisão centimétrica que utiliza principalmente observáveis da fase da portadora nas quais as correções diferenciais são formuladas em conjunto com um receptor GPS móvel (i.e. um navio ou uma lancha) e pelo menos uma estação fixa base.

O *GPS cinemático* requer uma estrutura de referência horizontal e vertical exata de modo a determinar uma posição exata em cada sondagem, relativamente ao NAD83 (por exemplo), e para determinar a profundidade exata de cada sondagem tal como a BMIm, BMmin ou outro *Datum* cartográfico local apropriado. É importante resolver o problema de determinar a separação entre um *Datum* vertical de *GPS cinemático* diferencial e o *Datum* cartográfico local para cada área do levantamento. Esta separação não é constante e pode ser bastante complexa. Geralmente não são muito bem conhecidos e podem ser necessárias medições adicionais para se compreender a complexidade da geodesia da área e as características da maré. Relações constantes podem ser adequadas em pequenas áreas da sondagem, interpolações simples noutras; ou podem ser necessários esquemas de zonamento contínuos e modelos de interpolação complexos. *Data* de

maré, batimetria e geodesia têm de ser colocados na mesma estrutura de referência vertical previamente às operações de sondagem.

A possibilidade de um bom controlo no uso do *GPS cinemático* em sondagens tem de ser avaliada durante o planeamento e se necessário o controlo do *Datum* geodésico e de marés tem de ser estabelecido antes da recolha operacional das sondagens para estabelecer a relação entre o *Datum* de marés e as superfícies de referência GPS ao longo da área do levantamento. A quantidade de trabalho de campo necessária é dependente da adequação do controlo geodésico e da maré existente (NOS, 2000).

3. ESCOAMENTO DE NÍVEIS DE ÁGUA E CORRENTES DE MARÉ

3.1. Introdução

Deve-se esperar que o hidrógrafo tenha experiência de trabalho em condições oceanográficas e meteorológicas previstas e observadas, de modo a ser capaz de conduzir com sucesso levantamentos para a recolha de dados de campo e de modo a conduzir uma navegação segura com a eficiência necessária para as sondagens. Para além da subida e descida das marés, as correntes de maré são geralmente uma variável predominante que influência as operações de campo. Frequentemente o hidrógrafo não é apenas necessário para efetuar sondagens para a produção de cartas náuticas, mas tem de ter conhecimento das características da maré e dos movimentos das correntes de maré e de ser capaz de descrevê-los para aplicações, tais como os roteiros da costa e produtos baseados em previsões de maré. Adicionalmente, é muitas vezes necessário que o hidrógrafo instale e recupere correntómetros e amarrações.

3.2. Princípios de Correntes de Maré

Uma corrente é o movimento horizontal da água. As correntes podem ser classificadas como sendo de maré ou não relacionadas com a maré. As correntes de maré são originadas pelas interações gravíticas entre o Sol, a Lua e a Terra e fazem parte do mesmo movimento dos oceanos que resulta na subida e descida da maré. As restantes correntes que não as de maré incluem as correntes permanentes dos sistemas de circulação geral dos oceanos assim como correntes temporárias originadas pela variabilidade meteorológica mais pronunciada.

Tal como os *Data* e alturas de maré, diversos países utilizam terminologia variada para descrever o mesmo fenómeno. O Reino Unido utiliza o termo fluxo de maré (em inglês *tidal streams*) em vez de corrente de maré (em inglês *tidal currents*) e o termo escoamento da maré (em inglês *tidal flow*) para descrever o escoamento real ou o escoamento total da corrente, que é uma combinação de componentes da maré e exteriores à maré.

As correntes residuais são por vezes referidas como a diferença entre as correntes totais observadas e as correntes de maré previstas ou a diferença entre *tidal streams* e *tidal flow*. Apesar das correntes de maré serem originadas pelas mesmas forças geradoras que a maré, as correntes de maré são muito mais variáveis e complexas de prever do que as alturas de maré. A subida e descida da maré é uma quantidade escalar (variam apenas as alturas) enquanto que as correntes de maré são uma quantidade vetorial (variam a intensidade e a direção associada). A intensidade e a direção das correntes num determinado local não variam apenas em tempo mas também com a profundidade. E as características da corrente num determinado local não podem ser estendidas muito longe, especialmente em áreas com batimetria complexa e pouco profunda e com configurações da linha de costa complexas. Os padrões das correntes em áreas complexas podem também apresentar vórtices e giros de vários tamanhos originados pela batimetria e pela configuração do canal em águas pouco profundas. Não é invulgar encontrar padrões de atrito da corrente nos quais existem variações significativas da direção e amplitude. Devido a esta variabilidade espacial, as previsões de marés obtidas a partir de medições correntométricas são

normalmente válidas somente para uma pequena área a uma dada profundidade, e não são necessariamente transferíveis no interior de uma região e ao longo da coluna de água.

Tipos de correntes que não as de maré incluem:

- Correntes de circulação oceânica;
- Giros, correntes de fronteira oeste e este, contra-corrente equatorial, etc.;
- Circulação termohalina;
- Correntes geradas pelo vento (Ekman até cerca dos 100M);
- Seichas;
- Caudais fluviais e correntes hidráulicas.

Em oceano aberto, as correntes de maré têm tendência a serem rotativas por natureza (Figura 5.18). Em teoria se a Terra estivesse completamente coberta por água, no instante em que a Lua ou o Sol está alinhado como o equador, as correntes de maré no equador mover-se-iam para trás e para a frente (este e oeste) de um modo invertido em resposta às marés. Com a latitude, as correntes mostrariam padrões elípticos que aumentariam com a latitude para um padrão circular nos pólos. O padrão a uma dada latitude variaria dependendo da declinação da Lua e do Sol. O efeito da força de *Coriolis* também acentua a natureza rotativa das correntes no oceano fazendo com que estas rodem no sentido dos ponteiros do relógio no hemisfério norte e no sentido contrário no hemisfério sul.

Figura 5.18

Nas áreas perto da costa, as correntes de maré tendem a ser mais alternadas na sua natureza respondendo à batimetria e topografia dos estuários e baías (Figura 5.19). As fases das correntes alternadas são descritas como tendo períodos de estofo, enchentes máximas e vazantes máximas. O estofo é o curto período de tempo entre a mudança da enchente para a vazante. Tipicamente, as correntes de enchente são aquelas que entram, que vêm em direção à costa ou para montante. As correntes de vazante são aquelas que saiem, que se deslocam para o largo ou para jusante. Estas marés apresentam muitas das características da maré descritas no caso das alturas de maré. As enchentes e as vazantes apresentam as características das marés semi-diurnas, mistas ou diurnas, muito semelhantes às características correspondentes das alturas de maré numa dada área. As suas intensidades apresentam alterações como resposta à variação da declinação da Lua e do Sol e aos ciclos perigeu/apogeu e periélio/afélio (Figura 5.4). As correntes de maré, em regimes de marés mistas, apresentam desigualdades nas enchentes e vazantes de cada dia, tal como as alturas de maré.

A direção da corrente é por vezes denominada como o *set* e a velocidade denominada como *drift*. A direção da corrente, por convenção, é a direção para a qual a corrente flui (o oposto da convenção para os ventos). As velocidades são definidas em termos de nós (navegação) ou metros/segundo (científico) (1 nó=0,51444 m/s).

As correntes hidráulicas têm origem na diferença em altura nos níveis de água de duas bacias interligadas (*Hell's Gate New York*, *Cape Cod Canal* e o *Chesapeake and Delaware Canal*). As diferenças de altura nas marés são originadas pela diferença de fase na maré em cada extremidade de um estreito ou canal. Correntes hidráulicas não relacionadas com a maré ocorrem, por exemplo, nos canais dos Grandes Lagos e tipicamente numa direção única para jusante.

Figura 5.19

Em teoria, as correntes de maré deveriam ter relações consistentes entre os tempos e intensidades das enchentes e vazantes e os tempos e alturas das preia-mares e baixa-mares dado que estão relacionados e sujeitos às mesmas forças geradoras de maré. Contudo, a resposta das bacias e estuários às forças geradoras de maré e as relações resultantes entre as correntes de maré e as alturas de maré é complexa e varia com a localização. Nalguns locais, as correntes máximas ocorrem na meia maré e noutros, as correntes máximas ocorrem perto da preia-mar e da baixa-mar.

3.3. Medição de Correntes

Existem dois métodos distintos para medir correntes: métodos Lagrangeanos como flutuadores, corantes, e drogues de correntes e métodos Eulerianos como a utilização de correntómetros em pontos fixos. Ambos os tipos têm vantagens e desvantagens dependendo da aplicação. Os aparelhos Lagrangeanos necessitam do seguimento das concentrações ou das variações da posição dos drogues ao longo do tempo; estes são úteis para a modelação e previsão da trajetória para aplicação em derrames de materiais perigosos e óleos ou para estudos de padrões de circulação estuarinos. Os drogues sub-superficiais podem também ser lançados para acompanhar correntes do fundo. Os equipamentos Eulerianos fornecem uma boa informação acerca de séries temporais de correntes, em locais específicos e em profundidades utilizadas na previsão tradicional de correntes de maré, para a aplicação na navegação recreativa ou comercial e em operações de navios de pesca. Ambos os tipos de medições são úteis para uma compreensão completa dos regimes das correntes e para o desenvolvimento e calibração de modelos de circulação hidrodinâmicos. Os navios que executam levantamentos hidrográficos podem ter a necessidade de instalar uma grande variedade de equipamentos de medição de correntes dependendo da área do levantamento e da informação necessária.

Os primeiros sistemas de medição de correntes eram por natureza Lagrangeanos e utilizavam as posições do navio a derivar ou objetos flutuantes lançados dos navios. Para trabalhos perto da costa, estes foram substituídos por amarrações com correntómetros com configurações mecânicas e eletromecânicas variadas. Estes sistemas são instalados em configurações de amarrações submersas, com vários metros e ao longo da linha de amarração vertical, dependendo da profundidade do correntómetro de cima, instalado o mais próximo da superfície possível. Os correntómetros mecânicos usam combinações de pás, rotores e hélices para medir a velocidade e a direção. Os dados são geralmente gravados internamente, sendo a sua recolha efetuada aquando da recuperação dos equipamentos. O período de instalação dos equipamentos é geralmente muito curto (no máximo alguns meses). Os sistemas de correntómetros modernos utilizam perfiladores acústicos de correntes com efeito *doppler* (ADCP) para medir perfis de corrente na coluna de água ao longo do tempo a partir de um equipamento instalado no fundo. Os ADCPs podem também ser instalados horizontalmente de modo a medirem as correntes de um canal ao longo do tempo e em profundidades fixas e podem ser rebocados para medir as correntes com a profundidade através de transectos dos canais. Estes correntómetros podem também ser instalados virados para baixo em bóias de superfície e podem ser configurados de modo a fornecer dados em tempo real, utilizando tecnologia acústica moderna ou ligação direta por cabos, dependendo da instalação. Os ADCPs fornecem perfis de intensidade e direção da corrente através do fornecimento de informação de *bins* verticais fixos na coluna de água. A figura 5.20 apresenta algumas configurações típicas de instalações correntométricas.

Figura 5.20

Atualmente, novos sistemas de radar de alta-frequência estão a ser instalados para fornecerem mapas de correntes à superfície ao longo de áreas extensas que podem também ser úteis para conduzir operações de levantamentos hidrográficos. Estes sistemas costeiros utilizam uma antena transmissora e receptora para fornecer vetores de corrente para *bins* de áreas à superfície fixos em tempo quase real (ver figura 5.21).

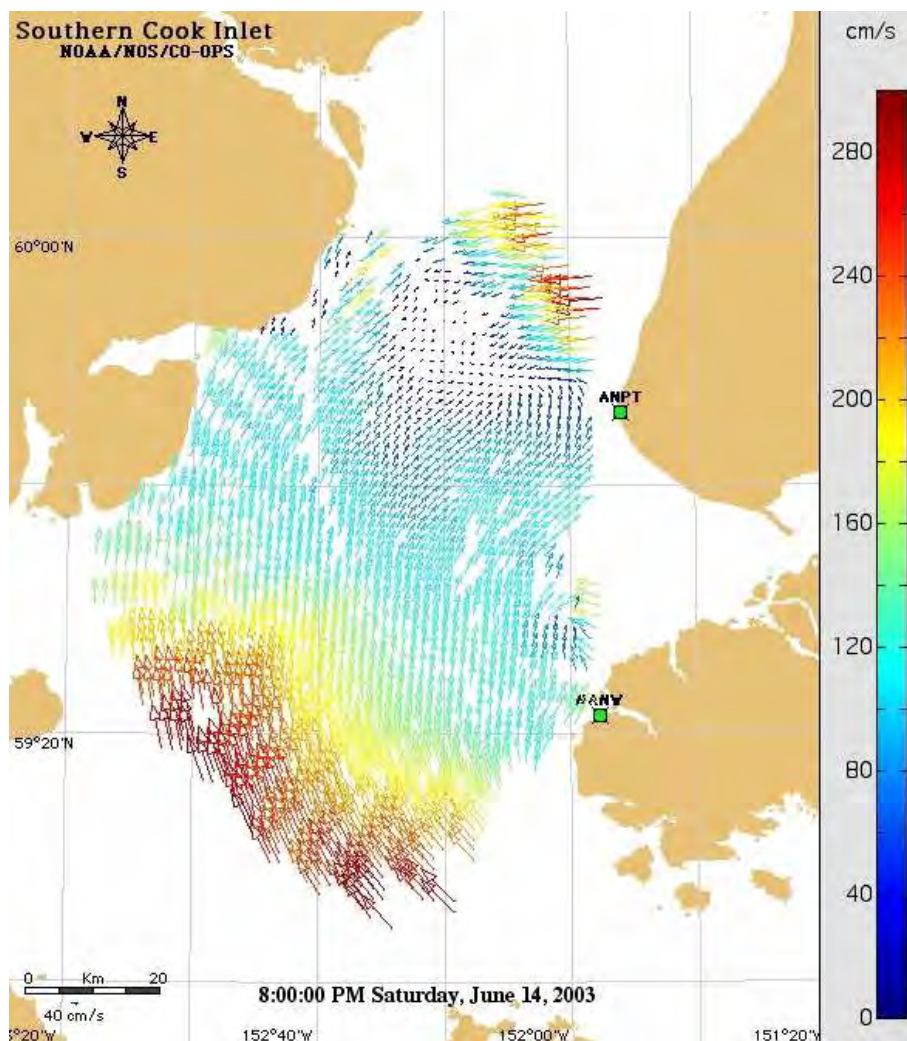



Figura 5.21

3.4. Previsão de Correntes de Maré

As correntes de maré, como as alturas de maré, podem ser previstas porque estas têm origem na interação do sistema Terra/Lua/Sol. Tal como as previsões de alturas de maré, as correntes de maré são previstas através da análise harmónica das medições obtidas, de preferência, a partir dos dados recolhidos durante 29 dias de modo a ter uma duração aproximada de um mês lunar. Podem ser utilizados para análise harmónica de correntes um mínimo de 15 dias de dados, visto que é historicamente e logisticamente complicado obter, de uma forma rotineira, mais do que essa duração numa instalação típica. Apesar da abordagem e teoria serem as mesmas na análise harmónica de marés e de correntes de maré, a análise de correntes de maré é mais complexa. Por exemplo, para correntes alternadas, dois conjuntos de constituintes são obtidos para os eixos maiores e menores, sendo o eixo maior a principal direção da corrente. Adicionalmente, a análise tem de tentar lidar com a presença de correntes permanentes que não as de maré que se encontrem na análise das observações.

Os navegantes estão geralmente interessados na duração e intensidade das quatro fases do ciclo das correntes de maré. As tabelas de previsões de maré da NOAA (E.U.A.) incluem previsões do estofo antes da enchente (SBF), da corrente máxima de enchente (MFC), do estofo antes da vazante (SBE) e da corrente máxima de vazante (MEC). Em áreas onde as correntes nunca estão no verdadeiro estofo (velocidade nula), os valores da corrente de enchente de estofo (SFC) e corrente de vazante de estofo (SEC) são também previstos. As estações de previsão de correntes

de maré também utilizam o mesmo conceito de estações de referência e estações secundárias que as tabelas de maré, de modo que as relações das velocidades são utilizadas para corrigir as previsões diárias da estação que se pretende em relação à estação de referência.

As previsões de correntes de maré têm limitações semelhantes às das previsões de alturas de maré. Deve-se ter muito cuidado aquando da extrapolação de uma previsão de maré ou corrente de maré para além do local da medição. Em especial no caso das correntes de maré devido à natureza da variação espacial da velocidade e direção em rios e estuários de águas pouco profundas, em consequência do forçamento exterior à maré devido ao escoamento do rio, velocidade e direção do vento e padrões de circulação naturais não devidos à maré. Tal como para as alturas de maré, as previsões de correntes de maré são muito menos úteis em áreas em que a relação sinal/ruído é reduzida (baixo forçamento da maré relativamente ao forçamento exterior à maré).

REFERÊNCIAS

Admiralty Manual of Hydrographic Surveying, Volume Two, The Hydrographer of the Navy, U.K., Chapter 2, Tides and Tidal Streams, 1969.

"Canadian Tidal Manual", Warren D. Forrester, Ph. D. under contract to Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, 1983.

"Computational Techniques for Tidal for Tidal *Datum*s", NOAA Technical Report NOS CO-OPS 2, U.S. Department of Commerce, NOAA, NOS December 2003.

"Guidelines for Establishing GPS-Derived Ellipsoid Heights (Standards: 2CM and 5CM)", Version 4.3, NOAA Technical Memorandum NOS NGS-58, November 1997.

"Manual of Tide Observations", U.S. Department of Commerce, Publication 30-1, Reprinted 1965.

"NOS Hydrographic Survey Specifications and Deliverables", NOAA, National Ocean Service, Office of Coast Survey, Silver Spring, Maryland, U.S.A., March 2003.

"NOS RTK Team Final Report", NOAA/NOS Team Final Report, August 31, 2000.

"Standards and Specifications for Geodetic Control Networks", U.S. Federal Geodetic Control Committee, September 1984.

"Tide and Current Glossary", U.S. Department of Commerce, NOAA, NOS, October 1989.

"Tidal *Datum* Planes", U.S. Department of Commerce, Special Publication No. 135, Marmer, 1951.

"Tidal *Datum*s and Their Applications", Special Publication No. CO-OPS 1, NOAA/NOS, June 2000.

"Understanding Tides", Steacy Dopp Hicks, December 2004.

"Variability of Tidal *Datum*s and Accuracy in Determining *Datum*s from Short Series of Observations", NOAA Technical Report NOS 64, Swanson, 1974.

CAPÍTULO 6 - LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS

1. INTRODUÇÃO

Do ponto de vista hidrográfico, um Levantamento Topográfico consiste numa série de operações realizadas com o objetivo de determinar a constituição das partes da superfície da terra que emergem em relação à água. Essa constituição inclui o relevo costeiro e a localização de objetos naturais ou artificiais permanentes e estruturas.

Tal informação é parcialmente obtida pela determinação da posição dos pontos no terreno, o que permite a determinação da sua forma, bem como dos detalhes das estruturas a serem representadas, definindo a sua localização e descrição para serem cartografadas. Outras fontes de dados incluem processos de detecção remota a partir da fotogrametria aérea, outros sensores aéreos ou produtos derivados das imagens satélite. Nestes casos, é necessário criar pontos de controlo no terreno a fim de ajustar as informações para o sistema de georreferenciação pretendido.

O termo topografia muitas vezes tem outras aplicações, por exemplo, em oceanografia, é utilizado para descrever as superfícies do fundo do mar ou os limites de certas características das massas de água. Todos estes significados têm no entanto em comum a descrição das superfícies externas de um corpo físico.

Este capítulo trata dos métodos aplicáveis à descrição das estruturas costeiras como parte dos levantamentos hidrográficos, nomeadamente no que diz respeito à aparência do terreno e à localização dos pormenores. Inclui a localização da linha de costa e dos pontos coordenados, geralmente relacionados com a linha de preia-mar, a informação na zona entre essa linha e a linha de baixa-mar, assim como as estruturas costeiras conspícuas que permitem ao navegador posicionar-se em relação às zonas perigosas perto da costa.

Excetuando os portos ou as zonas costeiras onde há intervenções ou projetos planeados que se espera que venham a ser empreendidos, é necessário fazer observações detalhadas das formações costeiras usando métodos topográficos.

Em alguns casos, muitos dos levantamentos topográficos podem ser realizados através de processos fotogramétricos. Nestes levantamentos, o controlo é conseguido através do posicionamento de detalhes no terreno que podem ser identificados nas imagens. Além disso, é necessário acrescentar informação que possibilite uma interpretação adequada acerca das estruturas costeiras.

Nos levantamentos topográficos costeiros, também é essencial a localização de todas as ajudas à navegação na respectiva área. Se for necessário, deve ser realizado um adensamento da rede geodésica quer através de pontos de apoio horizontais, quer através de pontos de apoio verticais. Em todos os casos, é essencial que o sistema de referência para as coordenadas do levantamento topográfico, o apoio geodésico e as ajudas à navegação (estações de referência, luzes, faróis, balizas, etc.) seja coerente com o sistema de referência utilizado para o resto do levantamento hidrográfico. Esta precaução é fundamental para o navegador, que determina a sua posição com a utilização das ajudas à navegação e outras estruturas costeiras, poder confiar na posição das profundidades cartografadas em relação às marcações das sucessivas posições do navio.

Este capítulo abordará, em primeiro lugar, os métodos aplicados aos levantamentos topográficos e, em seguida, irá lidar com a detecção remota, desde os processos fotogramétricos às imagens obtidas por satélite.

Exceto para a reafirmação de alguns princípios básicos, que são considerados essenciais, presume-se que o leitor tenha previamente examinado o Capítulo 2 (Posicionamento), onde assuntos relacionados com as coordenadas sobre o esferóide e o plano, métodos de controlo horizontal/vertical, equipamentos de posicionamento e respectivos métodos são abordados com mais profundidade.

2. TOPOGRAFIA, DELIMITAÇÃO DA LINHA DE COSTA E AJUDAS AO POSICIONAMENTO DA NAVEGAÇÃO

2.1. Especificações

2.1.1 Todas as tarefas devem assumir, no mínimo, as especificações referidas na publicação S-44 (Normas para os Levantamentos Hidrográficos da OHI), especialmente as relacionadas com o capítulo 2.

2.1.2 Na tabela 1 da S-44, é referido que se espera que os erros, no que diz respeito às posições das estruturas costeiras, sejam inferiores aos seguintes limites:

Tabela 6.1 (Tabela 1 na S-44)

	ORDEM ESPECIAL	ORDENS 1a e 1b	ORDEM 2
Ajudas à navegação fixas e objetos conspícuos para a navegação (95% de nível de confiança)	2m	2m	5m
Linha de costa e topografia de costa menos importante para a navegação (95% de nível de confiança)	10m	20m	20m
Posição média das ajudas à navegação flutuantes (95% de nível de confiança)	10m	10m	20m

2.1.3 Devem ser realizadas verificações pormenorizadas para confirmar que o sistema de referência utilizado para mostrar todas as coordenadas dos pontos de apoio é o mesmo. A verificação deve incluir uma análise dos registos e, sempre que surjam dúvidas, deve ser incluída uma verificação no terreno.

2.1.4 Para verificar a exatidão do posicionamento, deve ser implementada uma rotina rígida de controlo cruzado de informação entre as observações obtidas fisicamente a partir dos pontos de controlo (da rede geodésica ou de adensamento da mesma) e as respectivas coordenadas. Isto evitará situações de métodos de obtenção de coordenadas com base em medições realizadas em circuitos fechados que se iniciam e terminam no mesmo ponto de controlo. Em vez disso, devem ser incluídas outras formas de assegurar a coerência pretendida. Assim, deve ser incluída pelo menos uma ligação nas medições realizadas que garanta a transferência de coordenadas de um ponto de controlo para outro.

2.1.5 Quando o posicionamento por satélite (GNSS) é utilizado para fins altimétricos, deve ser assegurado que, para além da exatidão do processo levado a cabo, as correções entre as alturas acima do esferóide de referência utilizado e o nível médio do mar têm uma exatidão suficiente. O objetivo principal desta precaução é o de satisfazer os requisitos diretamente associados com os níveis da água do mar, tomadas de água ou escoamentos artificiais, levantamentos para projetos costeiros, controlo no terreno para fotogrametria, levantamentos portuários, etc.

2.1.6 Exceções a estes requisitos são os levantamentos destinados a representar a linha de costa vista do mar, o posicionamento de objetos conspícuos ao nível do mar, ou à determinação

das cotas das luzes, dos sinais e das balizas onde erros de ±0,3m são permitidos para grupos de sinais (enfiamentos) e um máximo de ±0,5m para um sinal ou objeto isolado. No caso de pontos de controlo no terreno destinados a definir a forma da linha de costa, a tolerância de erro pode ser de ±0,5m para Ordem Especial e ±1 m para as ordens 1 ou 2, quando o declive do terreno é inferior a 10%. Em inclinações superiores a tolerância de erro pode ser de até 1m±0,8 iH, onde **H** é o erro horizontal, que é mostrado na Tabela 6.1 e **i** é o declive (tangente do ângulo de elevação).

2.1.7 Os principais métodos utilizados na determinação da linha de costa são:

a) GNSS em metodologia Cinemático em Tempo Real/*Real Time Kinematic* (RTK através de GPS, etc.);

b) Intersecções Inversas (EDOM, sextante, teodolito, etc);

c) Irradiações ou Poligonais (EODM, Estações Totais, Nível e estádia, taquimetria ou sextante e barra de 10') *;

d) Intersecções (EODM, teodolitos ou sextantes);

e) Fotografia aérea;

f) Mapas existentes.

(*) Nas irradiações com sextante e barra de 10', os ângulos horizontais são medidos com um sextante (ver ponto 5.3.1 no Capítulo 2), bem como as distâncias com uma mira especial, em que um ângulo é convertido em distância (método paraláctico, através da medida entre duas marcas distintas com uma distância conhecida entre elas).

2.1.8 Os métodos utilizados vão depender da escala do levantamento, do tempo e dos equipamentos disponíveis. Ou seja, mapas existentes, onde pequenos detalhes possam ser representados, podem ser utilizados para escalas de 1:50000 ou menores (1:100000). Da mesma forma podem ser usadas fotografias aéreas, mas é provável que as imagens sejam reduzidas e interpretadas de acordo com as necessidades no Serviço Hidrográfico Nacional (SHN).

A restituição fotogramétrica também é um método adequado (derivado da informação aérea), mas é aconselhável que se complemente o processo com dados recolhidos durante o reconhecimento do terreno.

2.2. Métodos de Posicionamento e Exatidão

2.2.1. GNSS

(Ver ponto 6.1 no Capítulo 2)

Os métodos utilizando sistemas de navegação em modo absoluto só são aplicáveis aos casos em que, conforme é demonstrado na Tabela 6.1, erros de ± 20 m sejam aceitáveis. Usando um cuidado especial, incluindo um cálculo experimental das correções aos pontos de coordenadas conhecidas antes e após o levantamento, para períodos superiores a 2 horas entre o amanhecer e o pôr-do-sol, podem ser usados nos casos em que, de acordo com o quadro acima, é exigida uma exatidão de ± 10 m, desde que os cálculos destas correções sejam consistentes com os limites estabelecidos.

Métodos usando os códigos como observável em modo diferencial (DGPS, etc.), com estações de referência instaladas em pontos de controlo geodésico pode ser utilizado para casos que exijam ±

5 m de exatidão. Em casos com requisitos mais elevados (ou seja, ± 2 m da Tabela 6.1), os processos utilizados devem ser baseados na medição da fase da portadora L_1, L_1/L_2, etc.

Nestes casos, devem ser considerados os seguintes erros possíveis para os vetores:

Tabela 6.2

<table>
<tr><td>COMPRIMENTO DO VECTOR</td><td>L_1</td><td>L_1/L_2</td></tr>
<tr><td>Até 10 Km</td><td>±1 cm ±1 ppm</td><td rowspan="3">±1 cm ±1 ppm</td></tr>
<tr><td>10 a 40 Km</td><td>±1 cm ±2 ppm</td></tr>
<tr><td>40 a 200 Km</td><td rowspan="2">NÃO APLICÁVEL</td></tr>
<tr><td>Mais de 200 Km</td><td>±2 cm ±2 ppm(*)</td></tr>
</table>

(*) *Com períodos de tempo adequados, software e equipamentos especiais, os erros podem ser inferiores a ±1 cm ±1 ppm.*

Relativamente à Tabela 6.2, deve ser realçado que, com base no desenvolvimento esperado dos GNSS a partir de 2005, deve ser prestada atenção à sua atualização para permitir a contemplação da banda L5 e a completa compatibilidade na recepção operacional dos sistemas GPS, GLONASS e GALILEO.

Do mesmo modo, o potencial crescente da utilização do método Cinemático em Tempo Real / *real-time kinematic* (RTK) sugere que a sua utilização poderá exceder as atuais capacidades usadas nos levantamentos e seu uso para determinados tipos de posicionamento de controlo no terreno pode ser esperado. Atualmente (2004), essas técnicas podem ser consideradas como tendo erros da ordem dos ±5 cm ±5 ppm.

Além disso, dentro do desenvolvimento dos GNSS, não desconsiderando o referido anteriormente, estão previstos entrar em operação novos serviços diferenciais, adicionais aos já existentes:

- Sistemas de Incremento Baseados no Solo – *Ground Based Augmentation Systems* (GBASs), com transmissões de estações terrestres próximo de aeroportos, bem como de outros locais utilizados intensamente;

- Sistemas de Incremento Baseados em Satélite – *Satellite Based Augmentation Systems* (SBASs) com satélites que recebem sinais de correção diferencial de várias estações e, em seguida, transmitem as correções ajustadas. Uma das mais completas redes programadas para estar plenamente operacional em 2005 é a chamada WAAS (*Wide Area Augmentation System*) patrocinada pela USFAA (*US Federal Aviation Association*).

Alguns destes serviços estão a funcionar com características diferentes, apesar de ser esperado que aumentem em número e introduzam mais capacidades. Estes desenvolvimentos geraram a possibilidade de se realizar mais levantamentos sem a necessidade de estabelecer estações de referência. No entanto, não é aconselhável ser demasiado otimista na sua utilização se não existir nenhuma estação em terra, relativamente próxima, a contribuir para o sistema. Outro método consiste na implementação de redes de estações ativas, a recepção das quais é centralizada e transmite o resultado dos cálculos das efemérides precisas aplicáveis a uma determinada região.

Voltando aos equipamentos que utilizam diferenças de código com estações de referência operando em pontos de controlo, existem alguns que, por meio de um tratamento "sub-métrico", podem obter erros na ordem dos 10 cm ± 10 ppm, sem utilizar estritamente a fase das portadoras L e permitindo distâncias entre a estação base e a móvel que podem chegar aos 10 km.

Existe uma grande variedade de oferta de equipamentos, mas muito poucos cumprem com os limites estabelecidos para os erros. É, portanto, aconselhável verificar os procedimentos com um teste estacionando os equipamentos a várias distâncias em pontos de controlo existentes, a fim de se obter uma avaliação fiável.

Para o resto deste capítulo, presume-se que o equipamento em uso vai medir as fases da(s) onda(s) portadora(s) (L1 ou L1/2) dentro dos limites indicados na Tabela 2 e o erro do modo RTK (± 5 cm ± 5 ppm), conforme foi mencionado.

Idealmente, para realizar um levantamento topográfico, todos os pontos devem ser coordenados a partir de estações base em pontos coordenados materializados no terreno. Sempre que os pontos de controlo existentes não sejam suficientes, deve ser aumentada a sua densidade. A fig. 1 ilustra um plano desse tipo, isto é, a partir de uma rede de pontos de controlo existentes, novos pontos de controlo são obtidos através da determinação dos vetores GNSS utilizando receptores geodésicos em modo estático relativo. Para realizar as correções às altitudes geodésicas (acima do esferóide), a fim de obter a altitude acima do nível médio do mar ou outros níveis associados com ele (ver Capítulo 2), é necessário realizar a determinação da sua diferença em pontos de controlo altimétricos (pertencentes a uma rede altimétrica cujas cotas são conhecidas).

É desejável que os pontos de controlo do terreno usados nos levantamentos fotogramétricos e as ajudas à navegação sejam calculados, no mínimo, a partir de dois pontos de controlo. Métodos mais rápidos, como o *stop and go* ou o *real-time kinematic* (RTK) podem ser ambos usados tanto para estes tipos de pontos de controlo como para os pontos a coordenar no terreno, desde que preencham os requisitos previstos na Tabela 6.1.

Se, durante o levantamento, surgir a necessidade de coordenar pontos de controlo adicionais, estes devem ser coordenados com vetores a partir de dois pontos de controlo coordenados anteriormente.

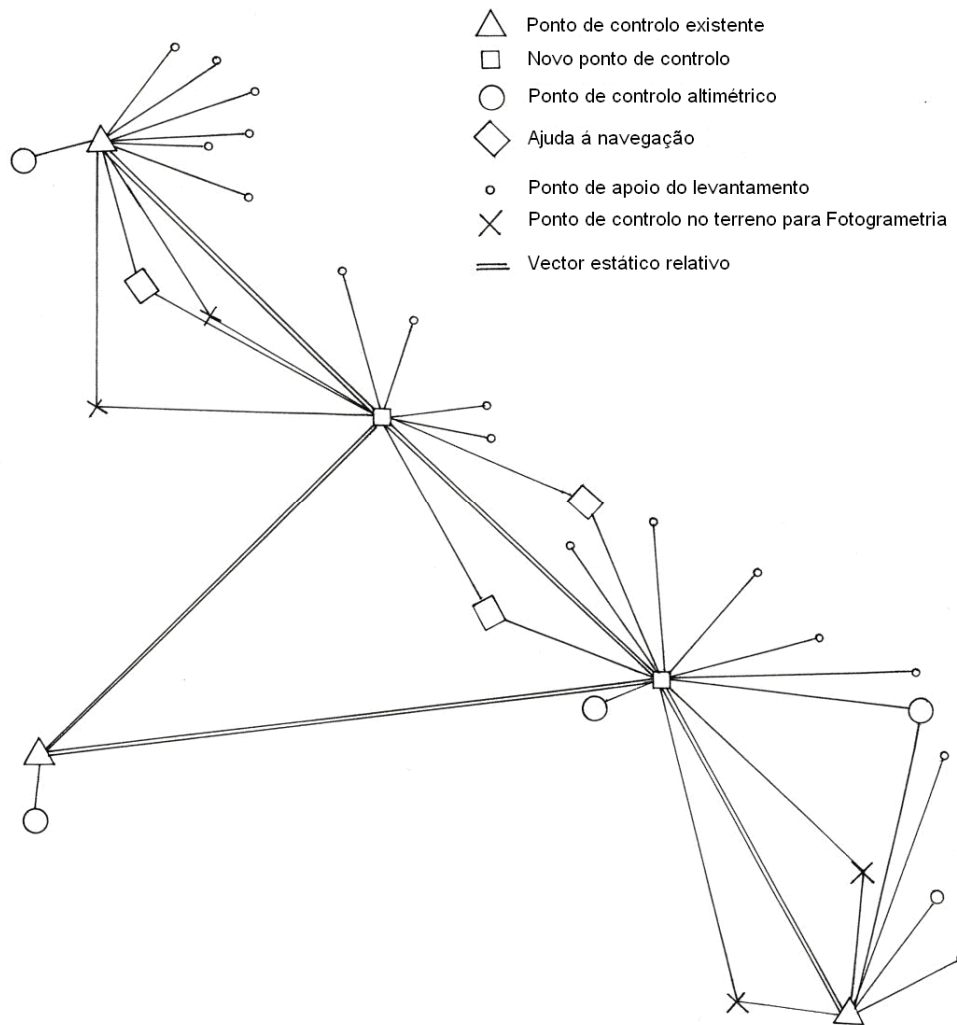



Figura 6.1

A facilidade de coordenar novos pontos de controlo e o custo de construção e preservação dos respectivos marcos, ou outras materializações, tem definido a tendência para o mínimo de marcos. Nesses casos, esquemas como os da fig. 6.2 podem ser escolhidos.

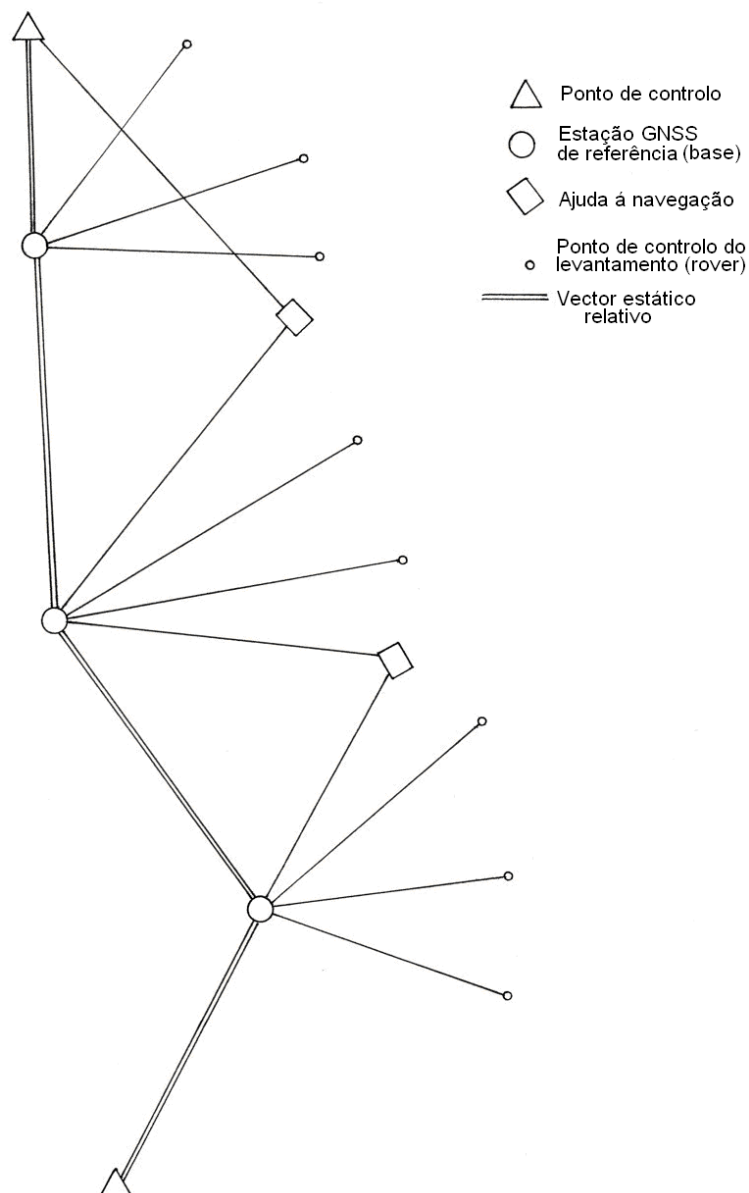



Figura 6.2

Além de servir como uma base de referência para o receptor móvel, as estações GNSS envolvidas no levantamento estão interligadas umas às outras através de determinações de vetores de posicionamento relativo, formando assim, no mínimo, uma poligonal entre pontos de controlo sem originar marcos adicionais. Na maioria dos casos, estas poligonais foram coordenadas com os mesmos instrumentos utilizados para o levantamento das estruturas do terreno.

2.2.2. Triangulação

(Ver ponto 3.2.1 do Capítulo 2)

É uma técnica baseada nas medições dos ângulos principais. Antes de meados do século 20, foi o método mais usado para o estabelecimento de redes geodésicas de controlo e para cálculo de pontos conspícuos, marcas e outras ajudas à navegação ou pontos de controlo no terreno para os levantamentos fotogramétricos. Desde a década de 1960, a utilização de Equipamentos de Medição de Distâncias Eletrónicos (EDM) ou Equipamentos de Medição de Distâncias electro-ópticos (EODM) superou os métodos acima referidos. Mais recentemente ambos têm vindo a ser

substituídos por métodos baseados no posicionamento por satélite, sobretudo desde que a cobertura global permanente foi estabelecida na década de 1990.

A primeira forma de triangulação para fins hidrográficos constou de uma série de observações tal como as da fig. 6.3, com um número relativamente pequeno de medições de lados (linhas base) e um grande número de medições angulares, que são aqui representadas como direções observadas. Este esquema permite uma elevada redundância. Cada quadrilátero com duas diagonais tem três verificações angulares criadas pela adição ou subtração de valores. No entanto, a escala da rede continua a ser determinada pelas linhas base.

Nos antigos pontos de controlo geodésicos isolados, a posição e a orientação eram estabelecidas a partir de observações astronómicas da latitude, longitude e azimute num *datum*. Hoje em dia, se forem utilizadas marcas dessas redes, geralmente, é necessário voltar a reobservar e recalcular as suas coordenadas por métodos GNSS, a fim de converter as coordenadas num sistema global como o WGS 84 (ver 2.2.3 no Capítulo 2).

Em geral, é de salientar que os comprimentos das linhas base podem ser medidos com exatidões entre 1 ppm e 3 ppm, as direções entre ± 0,5” e ± 2”, e a transição de uma base para a outra (isto é, a diferença entre uma linha base transferida por resolução dos triângulos e uma linha base medida) poderia normalmente ter entre 20 ppm e 40 ppm.

Estas limitações devem ser tidas em conta quando se tenta ajustar uma rede antiga de triangulação para um sistema de referência atual através de observações GNSS. Com distâncias de 200 ou 300 km pode haver diferenças de vários metros (2 ou 3). Mesmo tolerando diferenças dessa ordem de grandeza, é necessário dispor de uma quantidade suficiente de ligações bem distribuídas entre os *data* comuns e um algoritmo de conversão de *data*, para que se consigam absorver as distorções típicas das antigas redes (ver Capítulo 2).

Sem contrariar o mencionado anteriormente, o adensamento por GNSS de *data* com as coordenadas determinadas a partir de triangulações antigas deve ser evitado, uma vez que levam a distorções e imprecisões nos resultados finais. Se for inevitável, devido à necessidade de manter as coordenadas de um *datum* antigo, será necessário adotar estratégias de computação especiais e as limitações dos valores obtidos devem ser constatadas numa fase inicial.

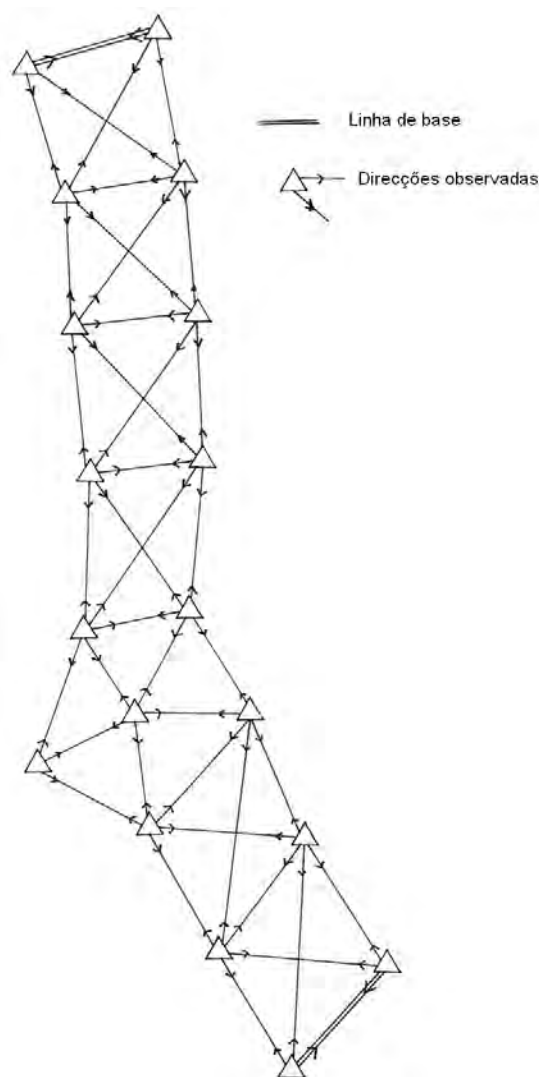



Figura 6.3

Uma rede de controlo com características como a da fig. 6.3 tinha, em geral, lados com comprimentos que variavam entre os 15 e os 25 km, com uma média de 18 km, com erros de fecho dos ângulos dos triângulos entre ± 1" a ± 2". Era denominada triangulação de primeira ordem. A densificação seguinte tinha lados mais curtos (10 a 15 km), com erros de fecho de ± 2" a ± 4", sendo designadas triangulações de segunda ordem. Havia também as triangulações de terceira e quarta ordem com lados menores e uma tolerância maior, ± 5", para a triangulações de terceira ordem, e ± 10", para triangulações de quarta ordem. A Tabela 6.3 detalha os valores típicos e alguns aspectos dessas ordens.

Tabela 6.3

CARACTERÍSTICAS DAS MEDIÇÕES DAS TRIANGULAÇÕES					
ORDEM	COMPRIMENTOS DOS LADOS (Km)	ERRO TIPICO DAS LEITURAS DIRECTAS DO TEODOLITO (”) (*)	NÚMERO TIPICO DE REITERAÇÕES (*)	ERRO TIPICO DA DIREÇÃO (”)	ERRO DE TOLERÂNCIA DO FECHO DO TRIÂNGULO (”)
1ª	15 a 20	0.1 a 0.2	9 a 18	0.1 a 0.5	1 a 2
2ª	10 a 15	1	6 a 9	1 a 2	2 a 4
3ª	5 a 10	1 a 10	4 a 6	2 a 3	5
4ª	2 a 10	10	2 a 4	5	10

(*) Ver ponto 5.3.2 no capitulo 2

Para os trabalhos de cada ordem, as coordenadas das ordens superiores eram consideradas como coordenadas fixas e, geralmente, as linhas base e as estações astronómicas eram exclusivamente para as duas ordens mais elevadas.

Em trabalhos de ordem menor, era normal selecionar poucos pontos de ordem superior de cada vez, como é ilustrado na fig. 6.4 à esquerda. Embora em alguns casos, para controlar a densificação das redes fosse realizada uma seleção de um número maior de pontos com observações de comprimentos mais curtos (Fig. 6.4, direita), sobretudo quando as torres de triangulação já tinham sido removidas. Estas torres eram usadas para elevar a linha de visão sobre as árvores, estruturas topográficas e outros obstáculos que interferissem com as observações. É óbvio que a remoção das torres impedia a realização de visadas distantes o que conduziu a soluções deste tipo.

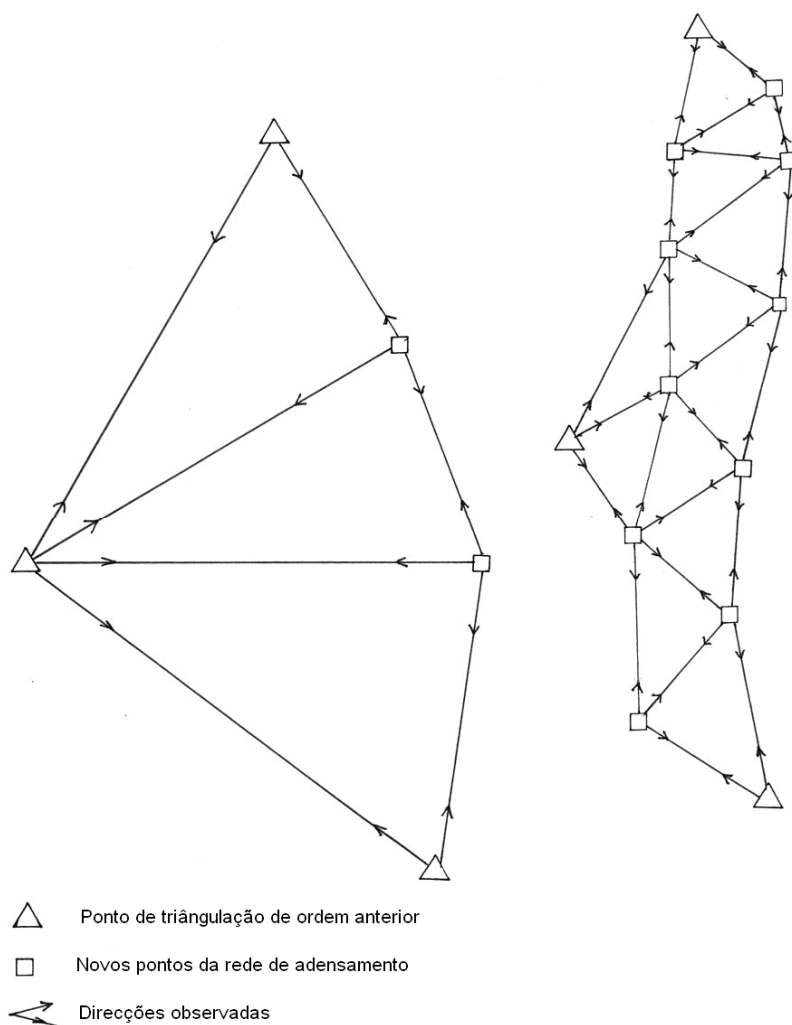



Figura 6.4

Em alguns casos, nos levantamentos hidrográficos, o termo triangulação foi utilizado para descrever a coordenação de pontos com triangulação de fachos por intersecção de visadas diretas (ver 2.2.4). Estes fachos eram largados com pára-quedas verticalmente sobre o ponto a ser coordenado e, enquanto ardiam, eram observadas direções, simultaneamente, a partir de pontos de controlo; esta metodologia foi usada em muitos pontos na costa que tinham de ser coordenados, quando não eram visíveis. Balões, tiros luminosos ou sinais altos movíveis foram também utilizados com a mesma finalidade.

O termo triangulação também tem sido usado quando são medidos ângulos para pontos coordenados com um sextante, por vezes em combinação com observações a partir desses pontos. O uso exclusivo das observações a partir dos pontos a serem coordenados é tratada como uma intersecção inversa em 2.2.4.

Embora essas técnicas estejam a ficar obsoletas devido à utilização intensiva de outros métodos modernos mais eficientes, ainda são eficazes.

Um dos problemas típicos da triangulação é a dependência da propagação do erro em relação à forma da rede, pelo que o erro dos resultados (posições) não depende apenas do erro da medição, mas também da geometria da rede. Este problema, para casos especiais, é tratado no ponto 2.2.4 embora se admita generalizações mais complexas. Por exemplo, uma cadeia única de triângulos equiláteros é mais rígida do que uma cadeia com triângulos de ângulos desiguais. Além disso, uma cadeia quadrada com duas diagonais é mais rígida do que uma cadeia com retângulos ou trapézios com diagonais similares.

2.2.3. Poligonais

(Ver 3.3.1 a 3.3.4 do Capítulo 2)

Antes da década de 1950-1960, a utilização combinada de distâncias e direções era restrita a pequenas áreas, mas mais tarde, com o desenvolvimento dos equipamentos EDM e EODM, redes maiores, com lados mais longos (5, 10, 15, 20, ... km) já podiam ser estabelecidas. Como é afirmado no início do ponto 2.2.2, estas técnicas superaram a triangulação.

Por algum tempo (cerca de 1960) uma nova técnica baseada exclusivamente nas medições dos lados (trilateração) (Ver ponto 3.2.2 do Capítulo 2) foi considerada, mas foi rapidamente rejeitada, principalmente devido à falta de controlo interno. Para clarificar este conceito, um triângulo tem uma condição de fecho dos ângulos, enquanto que os três lados da mesma figura não têm forma de ser controlados. Um quadrilátero com duas diagonais e todos os seus sentidos medidos, como referido no ponto 2.2.2, tem quatro condições de fecho, enquanto a mesma figura geométrica com seus 6 lados medido por trilateração apenas tem uma verificação. Esta vantagem da triangulação é limitada, uma vez que o método exige que alguns lados sejam medidos (linha base); no entanto, a trilateração pode ser realizada sem necessidade de qualquer determinação angular.

Uma combinação de ambas as técnicas resultou numa solução adequada, que será aqui denominada por poligonal, embora, frequentemente, uma poligonal possa ser uma simples sucessão de medições de ângulos e distâncias.

Uma das mais importantes propriedades das poligonais é que a propagação de erros é independente da sua configuração. Isto significa que não é necessário uma rede complexa que envolva uma forma adequada ou que sejam erguidas torres para possibilitar certas linhas de visão. Do ponto de vista prático, com este tipo de redes, a uniformidade dos pontos de controlo com as estações do levantamento ou os requisitos das ajudas à navegação era possível.

Em geral, é aconselhável manter um equilíbrio razoável entre os erros de ambos os tipos de medições (distâncias e direções), para melhorar a independência da geometria em relação à exatidão dos resultados. Uma regra aplicável é:

$$\frac{\sigma DIST}{DIST} = \frac{\sigma ANG}{200000}$$

Onde **σDIST** é o desvio padrão da distância indicado nas mesmas unidades da **DIST**, e **σANG** é o desvio padrão de uma direção medida em segundos sexagésimais. Então, para σANG = ± 1" a distância requerida é de 5ppm (1/200000) e para ± 4", 25ppm (1/40000) é suficiente.

Os limites de erros requeridos na determinação dos ângulos ou das distâncias nunca devem ser confundidos com a capacidade de leitura do instrumento ou a sua resolução. As limitações do observador, as condições ambientais, a exatidão das correções, a hora em que a medição foi realizada, etc., também devem ser considerados.

Por exemplo, para a medição de uma distância inclinada com um ângulo de elevação de 20º e 5 km de comprimento, com uma diferença de erro de elevação de ± 0,5 m, o erro esperado na sua projeção horizontal é de

0,5 M TV 20° = 0,18 m

Assim, apesar da medição ter sido realizada com um equipamento EODM, cujo erro pode ser da ordem de ±1 cm ±2 ppm, e com um erro da distância inclinada de ±2 cm, se for utilizado para a transportar coordenadas horizontais, o erro é de ±18 cm.

A distância medida com um equipamento EDM deve ser corrigida em função das condições ambientais (pressão, temperatura, umidade).

A umidade é calculada de acordo com a pressão e as observações de temperatura do termómetro seco e molhado, sendo muito importante para as medições realizadas com microondas. Não devem ser realizadas medições com um EDM numa atmosfera saturada (chuva, chuviscos, neblina). Nas medições realizadas com EODM a umidade não é tão importante, embora o comprimento da onda luminosa utilizada deva ser considerado. Os raios Laser têm uma vantagem, uma vez que são basicamente monocromáticos, é geralmente suficiente obter os dados acerca da pressão e temperatura. Para longas distâncias (mais de 5 km) é recomendado que os parâmetros ambientais sejam obtidos em ambas as extremidades das distâncias a ser medidas, determinando em seguida a sua média.

Os fabricantes geralmente fornecem as instruções para fazer as correções necessárias nos seus equipamentos. Nos EODM, devem ser utilizados os prismas refletores com os quais foi realizada a calibração do sistema para evitar erros na medição das distâncias, por vezes superiores a 1 cm.

Em distâncias superiores a 5 km devem ser realizadas correções devido à curvatura da terra e dos raios. Essa correção é:

$$+\frac{(1-k)^2}{24R^2}D^3$$

Onde **k** é o coeficiente de refração (razão entre o raio da terra e o raio de curvatura do sinal emitido). Em condições médias é de 0,25 para os microondas e 0,13 para ondas luminosas. Para o raio da terra é suficiente introduzir o seu valor médio aproximado.

R = 6371000m

A figura 6.5 ilustra o significado de **D** (a distância medida) e **S** (a distância reduzida à superfície de referência). Isto é necessário para a correção acima e para a correção da elevação dos pontos, o que é detalhado abaixo.

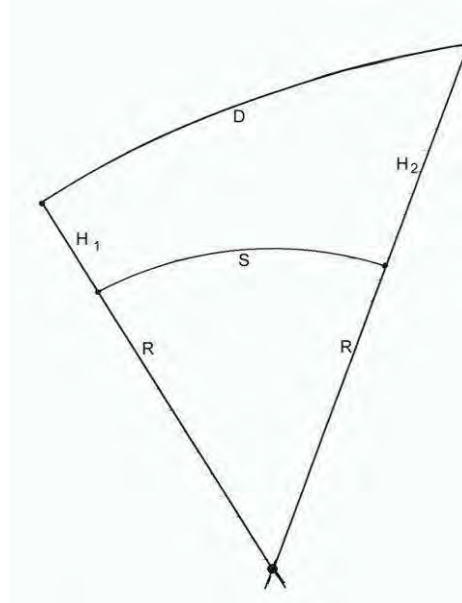



Figura 6.5

É importante notar que a correção acima para as curvaturas tem em consideração o efeito geométrico de ambos os arcos, assim como a influência física produzida como uma consequência da propagação do raio num nível ligeiramente inferior ao da média das condições ambientais em ambas as extremidades.

A correção da elevação e da inclinação do raio é mais significativa. A sua expressão geral é:

$$S = \sqrt{\frac{D^2 - (H_2 - H_1)^2}{(1+\frac{H_1}{R})(1+\frac{H_2}{R})}}$$

A maneira em que essas elevações são obtidas, especialmente a sua diferença ΔH = (H2 - H1) afeta o erro da correção. Ao considerar apenas o numerador:

$$S \approx \sqrt{D^2 - \Delta H^2}$$

Pode-se deduzir a influência:

$$dS \approx \frac{\Delta h}{\sqrt{D^2 - \Delta H^2}} d\Delta h = id\Delta h$$

Mencionada anteriormente. Portanto, o erro da diferença de elevação deve ser multiplicado pelo declive, **i = TV α**, a fim de se obter o efeito produzido sobre o erro da distância corrigida.

Nos levantamentos topográficos é usual fazer cálculos em coordenadas planas; para este efeito, é necessário ter aplicado previamente as correções ao plano da projeção. A forma como este tipo de correções podem ser calculadas é detalhada no ponto 2.2.5.

A forma mais vulgar e correta de calcular uma rede poligonal no plano de representação consiste no cálculo prévio das coordenadas para cada novo ponto começando com os valores dos pontos de coordenadas conhecidas e as observações não corrigidas. É necessário determinar as médias de alguns resultados obtidos a partir de diferentes pontos começando com as observações

redundantes adicionais. Quando as coordenadas provisórias forem aceites, as correções acima descritas devem ser aplicadas e, em seguida, devem ser determinadas as equações de observação e as incógnitas, que são as correções às coordenadas, para realizar um ajustamento por mínimos quadrados.

Se alguma observação ultrapassar os níveis de tolerância (erro máximo admissível) os registos originais devem ser verificados. Se não for encontrada uma causa aparente para a fonte do erro, deve ser considerada uma nova medição. Se houver uma redundância suficiente, pode ser removida a observação errada e realizado um novo ajustamento.

Em alguns circuitos de poligonação básicos pode ser realizado um ajustamento aproximado através da distribuição do erro de fecho angular em primeiro lugar e depois o erro de fecho das coordenadas proporcionalmente ao comprimento de cada lado ou, pode ser utilizado, outro critério lógico.

Os erros de fecho angulares nas poligonais devem ser inferiores a:

$$\pm\,(5''+2''\sqrt{n})$$

onde n é o número de estações angulares do circuito. Em poligonais secundárias, destinadas a aumentar a densidade dos pontos de controlo, o erro pode ser incrementado:

$$\pm\,(10''+10''\sqrt{n})$$

Quando o objetivo se limita a determinar as coordenadas dos detalhes costeiros, podem ser admitidas tolerâncias maiores.

Os erros de fecho das coordenadas não devem ser superiores aos valores indicados na Tabela 6.1, dependendo do uso da rede, notando que as coordenadas ajustadas para os pontos intermédios terão erros da ordem de metade do erro de fecho. No entanto, para as redes de controlo, o erro de fecho não deve ser superior a ±(0,2 m + 10 ppm) para o controlo primário horizontal e ±(0,5 m + 100 ppm) para as estações secundárias para satisfazer os requisitos previstos no ponto 2.1.2.

Quando os erros são maiores do que a tolerância da poligonal, há métodos disponíveis para ajudar a localizar a origem do erro. Por exemplo, quando um erro de fecho angular é detectado a direção em relação à grade cartográfica do lado suspeito é calculado a partir de todos os componentes do erro de fecho das coordenadas. No entanto, se houver um grande erro angular, os ângulos não devem ser ajustados no cálculo da poligonal em ambas as direções, assim apenas no ponto afetado os valores das coordenadas ficarão desfasados.

Quando uma rede é rigorosamente ajustada por mínimos quadrados a partir de coordenadas provisórias, o processo permite, a partir da matriz das variâncias-covariâncias, o cálculo dos erros das coordenadas ajustadas. Um cálculo semelhante numa poligonal pode não ser tão claro uma vez que os erros de fecho são mais gerais. Nesses casos, aos pontos do meio pode ser permitido ter um erro da ordem de metade do erro de fecho, diminuindo em cada extremidade.

Os cálculos da poligonal no plano são muito simples. O azimute na grade inicial é obtido a partir de incrementos em **ΔE** e **ΔN**. Dois pontos de controlo cujas coordenadas são conhecidas são representados como **P** e **Q** na Fig. 6.6. Então:

$$tgB_{PQ} = \frac{E_Q - E_P}{N_Q - N_P} = \frac{\Delta E_{PQ}}{\Delta N_{PQ}}$$

onde os sinais (+/-) de $\mathbf{\Delta E_{PQ}}$ e $\mathbf{\Delta N_{PQ}}$ também definem o quadrante.

Se o azimute verdadeiro referido ao norte verdadeiro, for usado como referência para a orientação em vez do norte da grade cartográfica, a declinação da grade γ (com a definição apresentada no Anexo A) deve ser tida em consideração. Daqui para a frente apenas será considerada a orientação do plano (azimute da grade cartográfica). Além disso, se for usada uma Projeção Transversa de Mercator, é assumido que as correções às observações (distâncias e direções), para o plano da representação são realizadas de acordo com especificações do ponto 2.2.5.

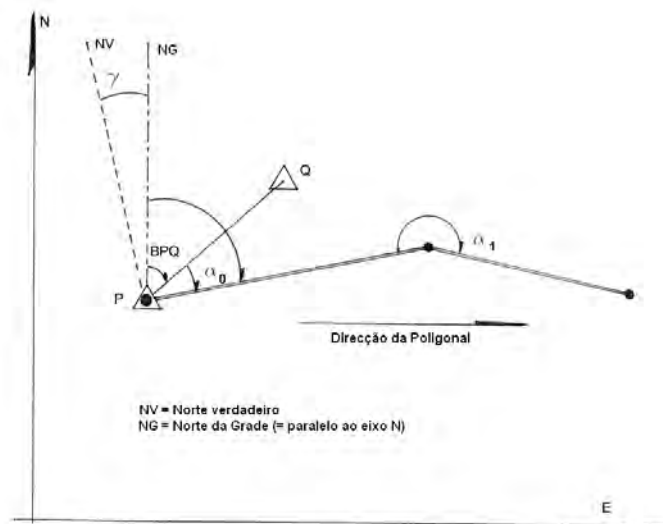



Figura 6.6

Voltando aos cálculos da poligonal, o azimute da grade do primeiro troço é obtido por simples adição do primeiro ângulo:

$$B_{P1} = B_{PQ} + \alpha_0$$

$$B_{12} = B_{P1} + \alpha_1 \pm 180°$$

E utilizando a forma geral seguinte da transferência de azimutes:

O sinal + é usado no caso da adição anterior ($\mathbf{B_{P1} + \alpha_1}$) ser inferior a 180 º e o sinal - quando é superior. Este último é o caso mais comum.

Os incrementos nas coordenadas são obtidos com as expressões para converter as coordenadas polares em coordenadas planas:

$$\Delta N = S \cos B$$
$$\Delta E = S \operatorname{sen} B$$

Deve ser recordado que, nos casos das poligonais simples, antes de fazer as conversões, é normal ajustar os ângulos, distribuindo o erro de fecho se este estiver abaixo do limite da tolerância. Nas poligonais mais complexas, os cálculos da rede podem ser complementados com os algoritmos relacionados com as visadas diretas ou as intersecções inversas de acordo com o descrito nos pontos 2.2.4 e 2.2.5. Os requisitos dos ajustamentos acima mencionados devem também ser considerados.

No que diz respeito aos ajustamentos, os métodos respectivos não serão mais desenvolvidos, uma vez que se espera que esses processos venham a ser desenvolvidos no NHO onde está disponível o software adequado. Deve ser lembrado, no entanto, que apenas podem ser alcançados bons resultados se os dados forem verificados no campo para garantir que os erros de fecho ou o cálculo das coordenadas dos pontos realizadas por métodos diferentes mostrem uma consistência aceitável com as especificações anteriormente mencionadas.

Uma poligonal simples é considerada completamente fechada, se for iniciada num par de pontos de controlo, e terminar noutro par. Há então três possíveis erros de fecho disponíveis: um erro de fecho angular e um erro de fecho para cada componente das coordenadas horizontais. Este caso, ilustrado no topo da Fig. 6.7, permite um ajustamento angular inicial e uma distribuição posterior das diferenças de coordenadas. Existe um caso especial de uma poligonal simples fechada que realiza um circuito, começando e terminando no mesmo ponto. Embora possa ser adequadamente verificada, como é especificado anteriormente, tal não é aconselhável pelas razões expostas no ponto 2.1.5.

Uma poligonal simples é denominada meio fechada quando não foi medida uma direção para um outro ponto de controlo a partir do ponto final, o que significa que não foi determinado o erro de fecho angular e que não é assim possível o seu ajustamento. No entanto, se os erros de fecho das coordenadas forem aceitáveis pode ser realizada uma distribuição semelhante à do caso anterior, como é ilustrado no segundo caso da figura. 6.7.

Uma poligonal simples é considerada precariamente fechada quando, embora comece e termine em pontos de controlo, não há uma direção medida no fim com uma orientação. A única verificação possível consiste na confirmação que a distância medida entre os pontos de controlo P e R determinada a partir da poligonal é bastante coerente com a distância calculada a partir de suas coordenadas conhecidas; este exemplo está ilustrado no terceiro caso da fig. 6.7. A forma mais simples de calcular a distância é atribuindo-lhe uma orientação arbitrária ou aproximada para o cálculo inicial e depois rodar a orientação e ajustar o comprimento de acordo com as diferenças ao ponto final.

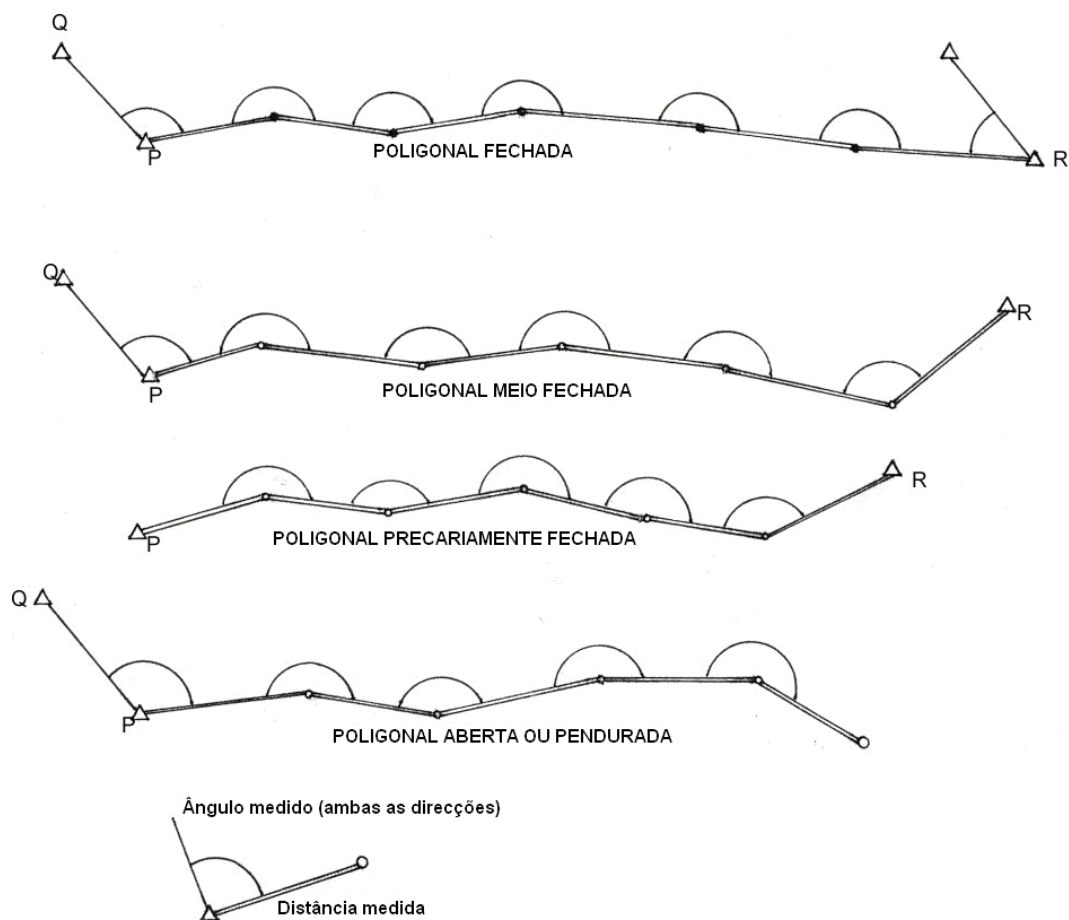



Figura 6.7

Uma poligonal simples é considerada aberta, não fechada, ou pendurada se começar em pontos de coordenadas conhecidas, mas terminar num ponto de coordenadas desconhecidas, não podendo por isso ser realizada nenhuma verificação do seu fecho ou ajustamento. Esta configuração não é recomendada. Quando é a única opção deve ser tido um cuidado extremo e a natureza temporária dos resultados subsequentes deverá ser claramente indicada.

As poligonais estão estreitamente associadas com as operações de nivelamento trigonométrico. Estas consistem numa série de medições realizadas para determinar as diferenças de cotas por ângulos verticais (Ver ponto 4.2 do capítulo 2).

A maneira mais precisa de obter uma diferença de cotas trigonometricamente consiste em medir a distância direta entre os pontos e os ângulos zenitais reciprocamente e simultaneamente de ambas as estações:

$$\Delta H_{12} = \frac{i_1 + s_1}{2} - \frac{i_2 + s_2}{2} + D \sin\left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right)$$

onde (ver fig. 6.8):

i_1 = altura do teodolito acima da marca no ponto 1;

s_1 = altura do alvo acima da marca no ponto 1;

i_2, s_2 = alturas do teodolito e do alvo acima da marca no ponto 2;

D = distância inclinada (ver fig. 6.5);

ΔH_{12} = diferença de cotas entre os pontos 1 e 2.

Os ângulos da elevação (**α**) são positivos quando estão acima do horizonte e são negativos quando estão abaixo do horizonte. Na fig. 6.8 o ângulo $\boldsymbol{\alpha_1}$ é positivo e o $\boldsymbol{\alpha_2}$ é negativo. É necessário que ambos sejam medidos em simultâneo para um ajustamento correto do raio de curvatura da refração, que varia ao longo do dia.

As diferenças de elevação trigonométrica obtidas sob estas condições podem ter um erro de

$$\pm 0{,}01\ m \cdot K$$

onde **K** é a distância expressa em quilómetros, o que equivale a dizer que é um erro de 1 cm/km.

Se a distância inclinada (**D**) não foi medida e a distância no terreno reduzida para o nível de referência, normalmente o nível médio do mar, estiver disponível, que é o caso da triangulação ou da intersecção (ver Fig. 5), a fórmula a ser aplicada é a seguinte:

$$\Delta H_{12} = \frac{i_1 + s_1}{2} - \frac{i_2 + s_2}{2} + S\left(1 + \frac{Hm}{R}\right) tg\left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right)$$

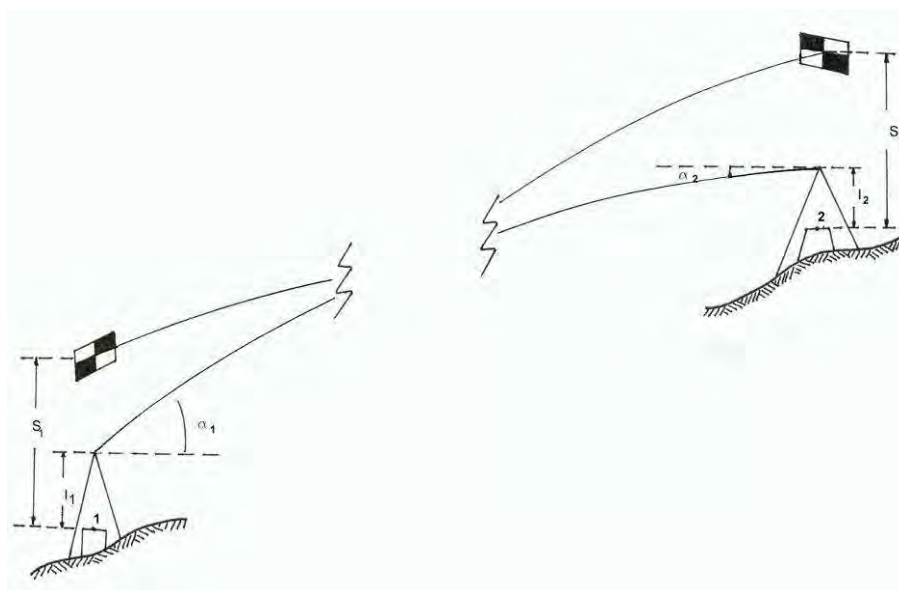



Figura 6.8

Se o ângulo de elevação for conhecido apenas no ponto 1, as fórmulas a serem aplicadas são:

$$\Delta H_{12} = i_1 - s_2 + D\ sen\alpha_1 + \frac{(1-k)}{2R} D^2$$

$$\Delta H_{12} = i_1 - s_2 + S\left(1 + \frac{Hm}{R}\right) tg\alpha_1 + \frac{(1-k)}{2R} S^2$$

Nas últimas três fórmulas, **R** é o raio médio terrestre, em princípio 6371 km, mas pode ser utilizado um valor mais correto em relativo à latitude e ao azimute da para o esferóide adotado. O mesmo é válido para a fórmula acima para transferir **D** para **S** (Ver Fig.6.5)

$$S = \sqrt{\frac{D^2 - \Delta H^2}{(1+\frac{H_1}{R})(1+\frac{H_2}{R})}}$$

$$Hm = \frac{H_1 + H_2}{2}$$

Hm é a cota média

Se apenas $\mathbf{H_1}$ está disponível, pode ser calculado fazendo:

$$Hm = H_1 + \frac{\Delta H_{12}}{2}$$

Onde $\mathbf{\Delta H_{12}}$ é obtida por um processo iterativo, o que melhora o valor de $\mathbf{H_2}$.

O coeficiente **k** tem o significado acima indicado, e pode-se considerar que tem um valor de:

$$k = 0,13 \pm 0,05$$

então o erro de um diferença de cota trigonométrica não-recíproca (simples) pode ser:

$$\pm (0,01 \text{ m K} + 0,004 \text{ m K}^2)$$

A utilização de métodos de nivelamento trigonométrico é ideal tanto para reduzir os lados de determinação das diferenças de cotas e elevações e para outros requisitos altimétricos para superar possíveis exatidões.

2.2.4. Intersecção Direta e Intersecção Inversa

A forma mais geral de intersecção (visadas diretas) consiste na observação de direções a partir de dois pontos coordenados para um ponto cujas coordenadas se pretende determinar. Direções em orientação significam que as direções são medidas a partir das estações para outros pontos de coordenadas conhecidas, tornando então possível obter os azimutes cartográficos das duas direções. Em alguns casos muito especiais estas orientações são astronómicas ou giroscópicas; em tais casos, é necessário converter o azimute verdadeiro no azimute cartográfico aplicando a declinação da grade mostrada como γ na Fig. 6.6.

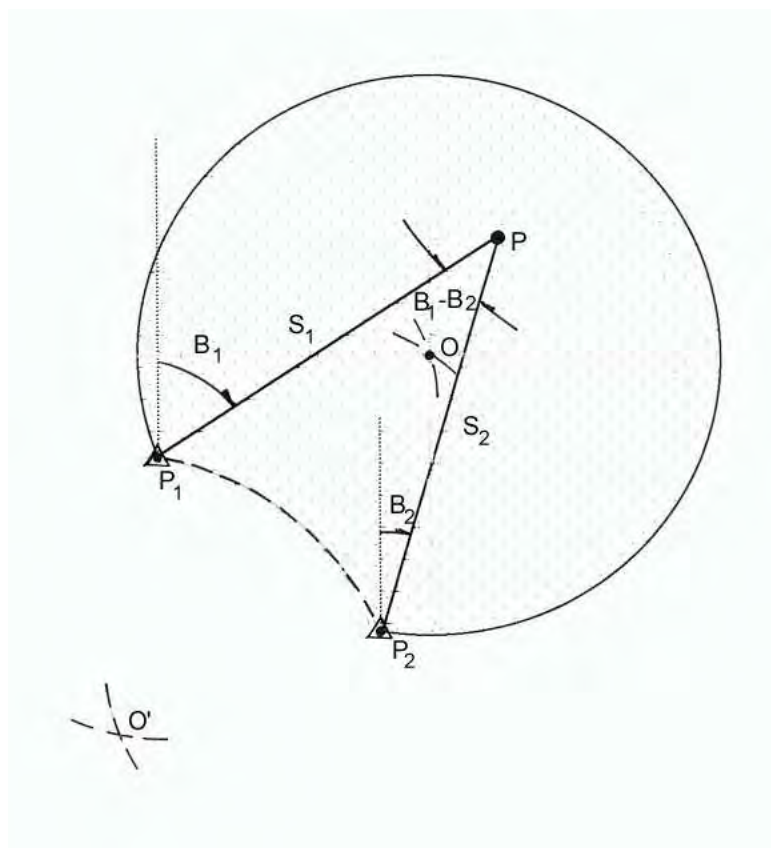



Figura 6.9

A Fig. 6.9 ilustra um exemplo típico de uma intersecção direta. Deve ficar claro que, em alguns casos, especialmente em distâncias curtas, as direções recíprocas entre pontos de coordenadas conhecidas (P_1 - P_2; P_2 - P_1) são utilizadas para origem das orientações no plano (B_1, B_2) para o ponto cujas coordenadas se pretende determinar (P).

Além dos erros dos azimutes cartográficos decorrentes principalmente dos erros angulares, as distâncias (P_1 - P; P_2 - P) e os ângulos entre essas direções, que é igual à diferença (B_1 - B_2), contribuem para os erros na determinação das coordenadas de P. A regra mais simples define que os ângulos de cruzamento devem estar compreendidos entre 30º e 150º. A área onde esta condição é satisfeita encontra-se a sombreado na fig. 6.9 e corresponde aos limites de dois círculos centrados em O e O' que são obtidos como os vértices de dois triângulos equiláteros com um lado comum P_1P_2.

Fora desta área, os erros aumentam significativamente até atingirem a indeterminação quando B_1 – B_2 for igual a 0° ou a 180°.

Outro caso de intersecção é mostrado quando são medidas distâncias a partir de P_1 e P_2 para o ponto que se pretende coordenar (P). Estas distâncias (S_1; S_2) definem duas soluções simétricas em relação ao eixo P_1 - P_2. Para resolver esta ambiguidade, deve ter-se informação adicional sobre se o ponto P fica do lado esquerdo de P_1 para P_2 (este é o caso na figura), ou no lado direito (um caso simétrico). Uma solução alternativa é anotar, quando visto a partir de P, qual é o ponto coordenado que fica à direita ou à esquerda (no caso da figura 6.9, P_1, está à direita e P_2 à esquerda).

São apresentados no ponto 2.2.5 os algoritmos para fazer as correções para o plano e obter as coordenadas de P, levando em conta a casos descritos.

Em casos de intersecção, direções (linhas retas) ou distâncias (arcos), as melhores soluções são obtidas quando o ângulo de cruzamento (B_1 - B_2) tende para 90°. Nestes casos, a elipse de erro tende a ser um círculo. Estritamente falando, tendo em conta que os erros cometidos na medição das direções e das distâncias aumentam a sua influência com o aumento da distância e que, por isso, as soluções ideais diferem ligeiramente da regra dos 90º, o seu uso, no entanto, é uma boa forma de rapidamente examinar a adequação da solução.

A situação mais comum das intersecções inversas ocorre quando três pontos de coordenadas conhecidas são observados a partir do ponto que se pretende coordenar, como é ilustrado na Fig. 6.10. Este caso é normalmente conhecido como a intersecção inversa de Pothenot-Snellius.

Neste caso, a indeterminação ocorre quando a circunferência de um círculo passa nos três pontos de coordenadas conhecidas. Os mesmos ângulos (**α, β**) para os pontos coordenados podem ser medidos em qualquer ponto localizado sobre essa linha. É relativamente fácil evitar esta situação, através da implantação numa carta dos pontos coordenados e verificando se eles ficam sobre um círculo centrado no ponto de coordenadas desconhecidas. Outro método consiste em verificar a adição:

$$\alpha + \beta + \omega$$

Se for próximo de 180° tal situação deve ser evitada.

O algoritmo para resolver este caso, incluindo as correções para efetuar o cálculo no plano da projeção, é mostrado no ponto 2.2.5.

As intersecções inversas foram usadas muito frequentemente pelos hidrógrafos, tanto nos levantamentos topográficos com os teodolitos como nos levantamentos hidrográficos com os sextantes. A sua principal vantagem consistia na necessidade de apenas colocar sinais nos pontos de controlo, ficando o hidrógrafo, em seguida, livre para realizar as suas tarefas sem necessitar de assistência de terra.

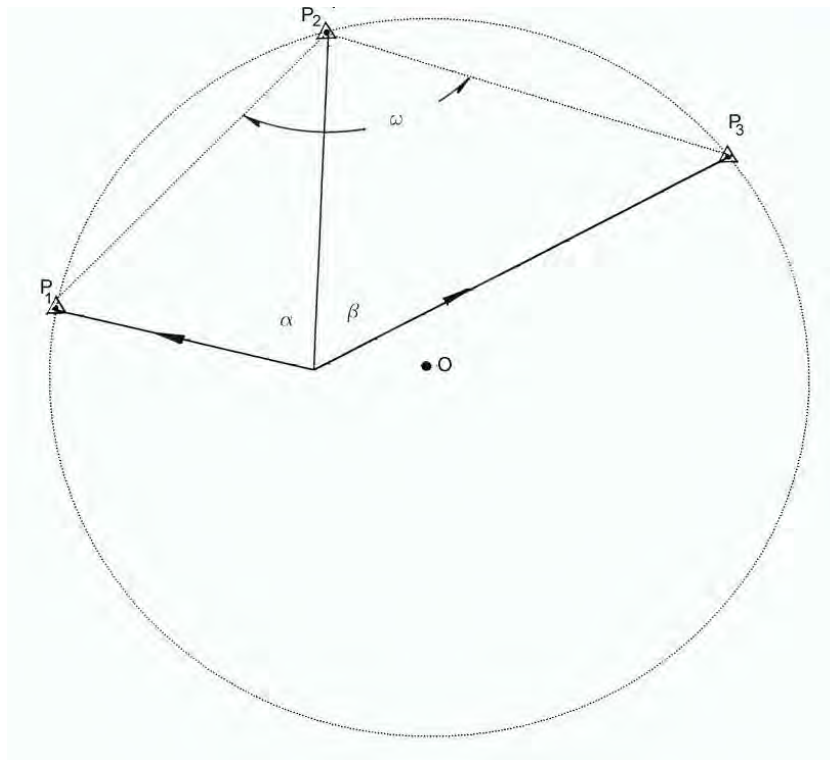



Figura 6.10

É possível conjugar múltiplas intersecções inversas como é apresentado, de uma forma geral, na Fig.6.11.

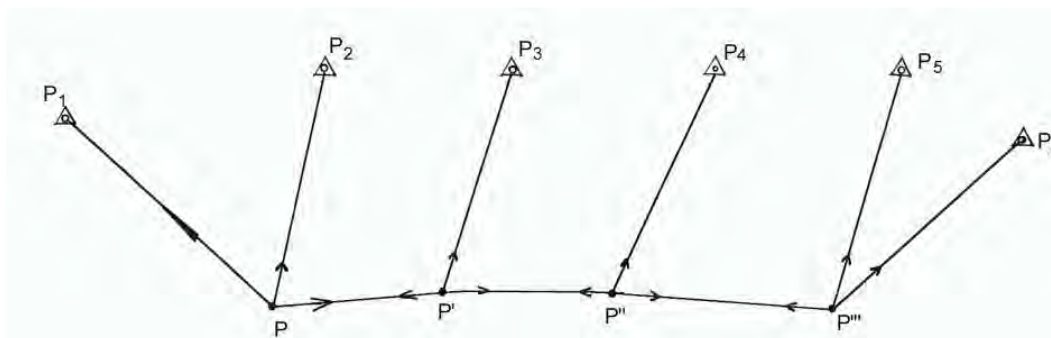



Figura 6.11

Isto é, a partir dos pontos que se pretendem coordenar P, P', P", P'",... são determinadas direções para os pontos de coordenadas conhecidas P_1, P_2 ... P_6. Nestes casos, deve ser notado que, no primeiro e último ponto, são visados dois pontos de coordenadas conhecidas; nos pontos intermédios, além das direções recíprocas, uma visada para um desses pontos de coordenadas conhecidas é suficientemente.

Quando há apenas 2 pontos para coordenar e 4 pontos de coordenadas conhecidas são visados, a solução é conhecida como a solução de *Marek*. Se apenas forem visados dois pontos de controlo para determinar as coordenadas de dois pontos, a solução é chamada solução de *Hansen*. Estes casos particularidades são ilustrados na Fig. 6.12.

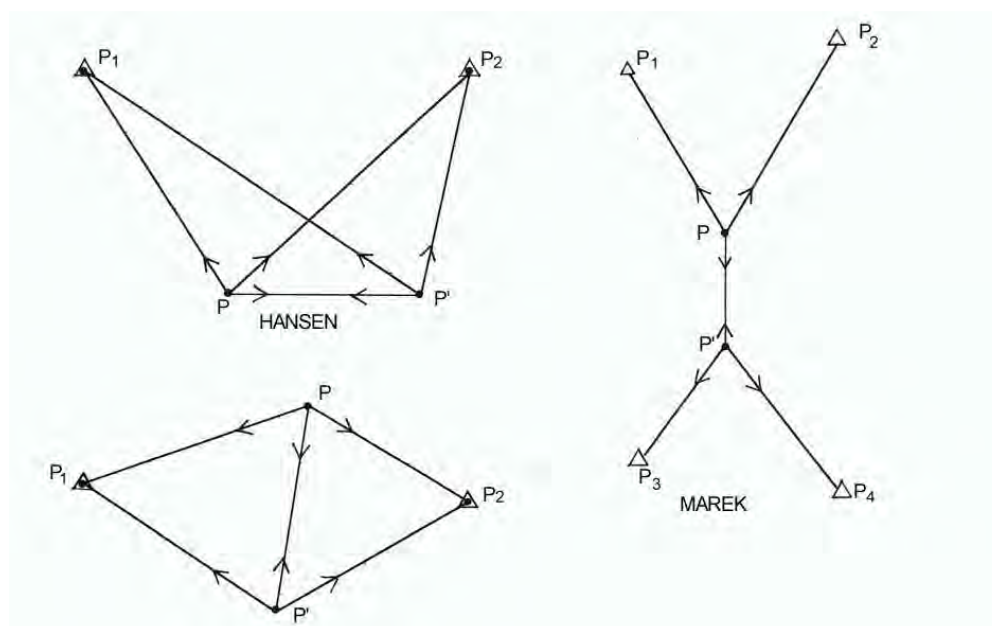



Figura 6.12

Embora estes múltiplos casos de visadas inversas possam ser utilizados sempre que necessário, tal não é recomendado devido às suas limitadas possibilidades de controlo. Uma solução simples que se pode aplicar consiste na incorporação de visadas adicionais de forma a proporcionar redundância e a oportunidade de permitir a sua verificação.

Deverão assim ser observadas mais do que três direções para pontos de coordenadas conhecidas a partir de cada ponto que se pretenda coordenar, ou fazer com que os pontos a coordenar sejam

interligados por visadas recíprocas, como é ilustrado na Fig. 6.13; apesar das coordenadas de cada ponto serem determinadas pelas direções para três pontos de coordenadas conhecidas, podem ser incluídas visadas recíprocas entre os pontos a coordenar nos cálculos dos pontos adjacentes.

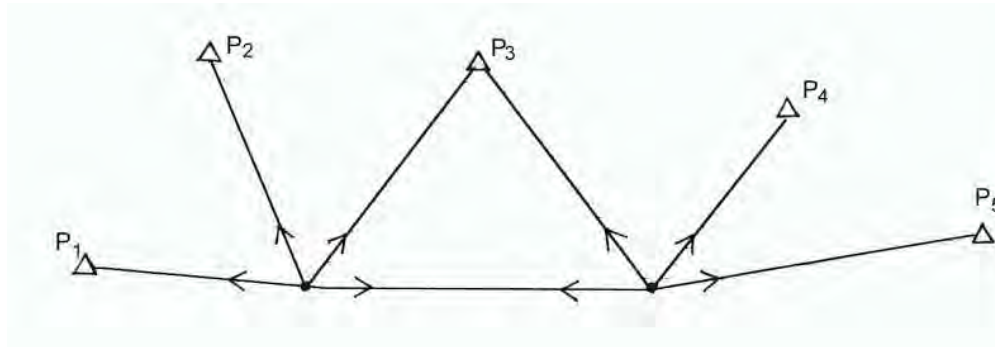



Figura 6.13

As configurações que estejam inicialmente próximas de situações de indeterminação podem ser melhoradas desta forma.

Soluções deste género requerem um determinado tipo de ajustamento, quer seja rigoroso, pelo método dos mínimos quadrados, ou pelas médias iterativas de várias soluções positivas, tentando dar mais força aos casos mais afastados da situação de indeterminação.

2.2.5. Algoritmos Usuais

a) Correções à projeção no plano (ver Anexo A)

Um dos processos a ser realizado para que os cálculos com figuras retilíneas no plano sejam corretos está relacionado com as correções que devem ser aplicadas às observações efetuadas (distâncias e direções). Nesta secção, iremos lidar com a projeção de Gauss Krüger, também conhecida como a Transversa de Mercator, e que é muitas vezes utilizada para cálculos topográficos.

O ANEXO A lida com a natureza desta projeção para os casos do "cilindro tangente", que são aqueles em que a deformação da distância começa a partir do meridiano central:

$$m = \frac{ds'}{ds} = 1 + \frac{x^2}{2R^2} + ...$$

onde **x** é a coordenada Este referida ao meridiano central:

$$x = E - X_0$$

quando for usado um valor de falsa origem Este igual a $\mathbf{X_0}$.

Se este coeficiente é aplicado entre dois pontos 1 e 2 (não infinitamente próximos) é obtida a relação:

$$\frac{S'}{S} = 1 + \frac{x_1^2 + x_1 x_2 + x_2^2}{6R^2}$$

Convém notar que, se um ponto ficar num dos lados do meridiano central e o outro ponto no outro lado, o produto $\mathbf{x_1 \cdot x_2}$ será negativo.

Para além disso **R** (o raio médio terrestre) deve ser calculado para a latitude média da área de trabalho e o sistema de representação inclui um coeficiente (**K**), para contrair as distâncias ao longo do meridiano central, como no caso da representação UTM (onde K = 0,9996, ver ANEXO A). O coeficiente para reduzir as distâncias (para obter o valor no plano, multiplicando-o pelo valor geodésico sobre o esferóide) deve ser afetado pelo mesmo valor.

ou

$$\frac{S'}{S} = K\left(1 + \frac{x_1^2 + x_1x_2 + x_2^2}{6R^2}\right)$$

$$S' = K\left(1 + \frac{x_1^2 + x_1x_2 + x_2^2}{6R^2}\right)S$$

As direções medidas também exigem a aplicação de uma correção. Esta necessidade surge a partir do fato das linhas geodésicas (sobre o esferóide) ao serem transferidas para o plano, serem representadas por uma ligeira concavidade orientada na direção do meridiano central.

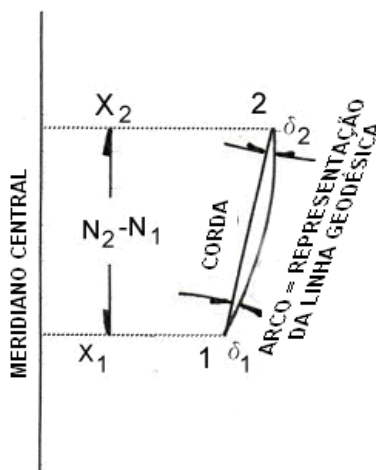



Figura 6.14

A Fig. 6.14 mostra essa curvatura e as correções que devem ser aplicados a partir da passagem do arco, correspondente à linha geodésica, para a corda, correspondente ao lado de uma figura retilínea sobre o plano. Ao aceitar o sinal da correção para passar do arco para a corda, pode-se ver que:

$$(\delta_2 - \delta_1) = \frac{\rho''}{2R^2}(x_1 + x_2)(N_2 - N_1)$$

uma vez que o valor absoluto a adicionar a essas correções deve ser equivalente ao excesso do quadrilátero esférico cuja superfície é 1/2 (x_1+x_2) (N_2-N_1) e que **ρ"** é a constante típica para passar de radianos para segundos sexagésimais (ρ" = 206265").

Como o arco de curvatura aumenta com os valores de x, naturalmente, o x do ponto de coordenadas conhecidas tem mais peso do que o do ponto observado. Então:

$$\delta_1 = \frac{\rho''}{6R^2}(2x_1 + x_2)(N_1 - N_2)$$

$$\delta_2 = \frac{\rho''}{6R^2}(2x_2 + x_1)(N_2 - N_1)$$

e a diferença entre estes paramentos conduz à primeira expressão (δ_2-δ_1).

De uma forma geral, se há a necessidade de reduzir uma série de direções para os pontos Pi medidos a partir de um ponto Po, as correções (juntamente com o seu sinal) são:

$$\delta_i = \frac{\rho''}{6R^2}(2x_0 + x_i)(N_0 - N_i)$$

Deve reparar-se que, para oeste do meridiano central, os valores de x são negativos, portanto o sinal da correção que gera uma mudança na concavidade é automaticamente alterado. Assumindo que a direção entre o ponto de coordenadas conhecidas e o ponto observado é realizada em diferentes lados do meridiano, a mudança no sinal de x irá diminuir o valor de δ. O que é lógico uma vez que a linha geodésica terá uma inversão da curvatura, a fim de manter a concavidade acima mencionada.

Para os cálculos das correções para ambas as distâncias e direções, é normal que se faça um cálculo preliminar das coordenadas do ponto e que se ignorem quaisquer deformações. As correções são estimadas utilizando estas coordenadas provisórias e, em seguida, o cálculo final é realizado. Nalguns casos as coordenadas provisórias são utilizadas para o ajustamento, porém isso não será aqui aprofundado.

b) Intersecção de Direções (Visadas diretas)

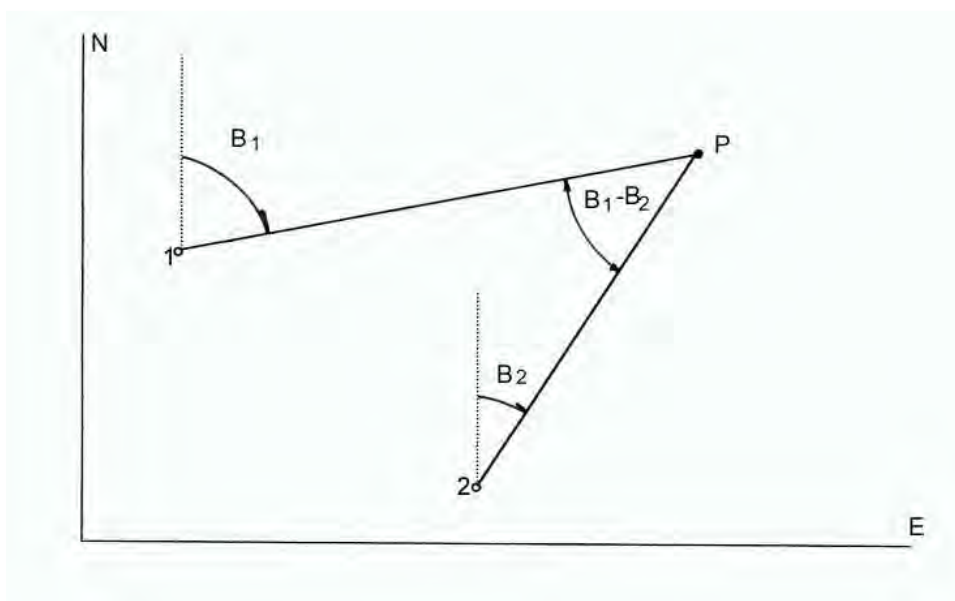



Figura 6.15

A Figura 6.15 mostra uma intersecção de duas direções, de que os azimutes cartográficos respectivos B_1 e B_2 são conhecidos. Podendo ter sido obtidos a partir das visadas de 1 para 2 e de 2 para 1.

Existem várias soluções e software para resolver este tipo de problema. Uma delas é:

$$N = N_1 + \frac{\left[(N_1 - N_2)senB_2 - (E_1 - E_2)\cos B_2\right]}{sen(B_1 - B_2)}\cos B_1$$

$$E = E_1 + \frac{\left[(N_1 - N_2)senB_2 - (E_1 - E_2)\cos B_2\right]}{sen(B_1 - B_2)}senB_1$$

c) Intersecção de Distancias

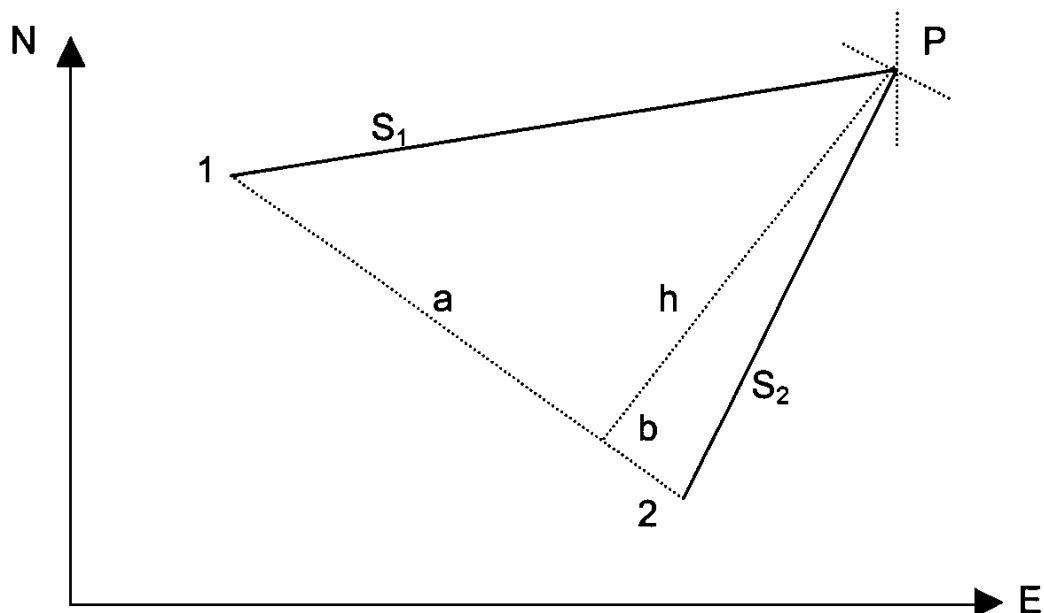



Figura 6.16

Este caso é ilustrado na Fig. 6.16, tendo duas soluções matemáticas é, portanto, necessário clarificar se o ponto P está à esquerda (este é o caso da figura), ou à direita de linha 1-2.

Uma das soluções é obtida através da aplicação dos cálculos seguintes:

$$S_{12} = +\sqrt{(N_2 - N_1)^2 + (E_2 - E_1)^2}$$

$$senB_{12} = \frac{E_2 - E_1}{S_{12}}$$

$$\cos B_{12} = \frac{N_2 - N_1}{S_{12}}$$

$$a = \frac{1}{2}\left(S_{12} - \frac{S_2^2 - S_1^2}{S_{12}}\right)$$

$$b = \frac{1}{2}\left(S_{12} + \frac{S_2^2 - S_1^2}{S_{12}}\right)$$

$$h = +\sqrt{S_1^2 - a^2} = \sqrt{S_1^2 - b^2}$$

$$N = N_1 + a\cos B_{12} \mp hsenB_{12}$$

$$E = E_1 + asenB_{12} \pm h\cos B_{12}$$

O sinal de baixo é usado para o caso em que P está à esquerda de 1-2 e o sinal de cima quando P está à direita.

d) Intersecções Inversas

Conforme se afirma no ponto 2.2.4 acima, uma intersecção inversa ocorre quando são medidas direções ou ângulos a partir de um ponto, cujo cálculo das suas coordenadas é requerido, para três pontos de coordenados. Esta situação, assim como a nomenclatura a ser aplicada no algoritmo, é ilustrada na fig. 6.17.

Antes de prosseguir, convém referir que há muitas soluções gráficas, numéricas e mecânicas para obter as coordenadas do ponto em que se estacionou.

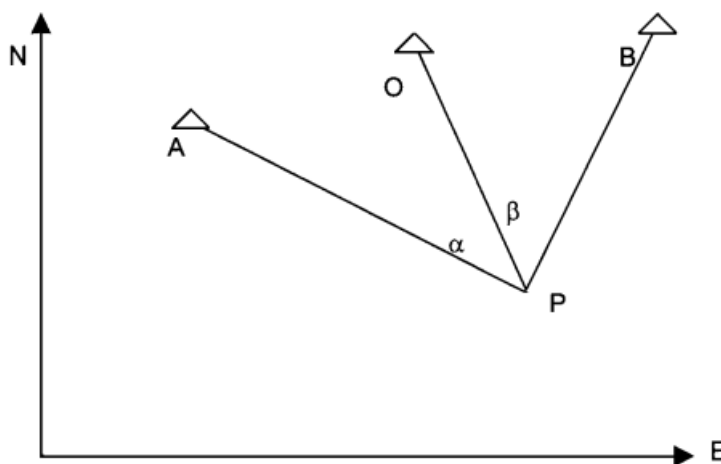



Figura 6.17

Com essas soluções numéricas, é essencial que esteja disponível um método para detectar casos próximo da indeterminação, como é indicado na Fig.6.10.

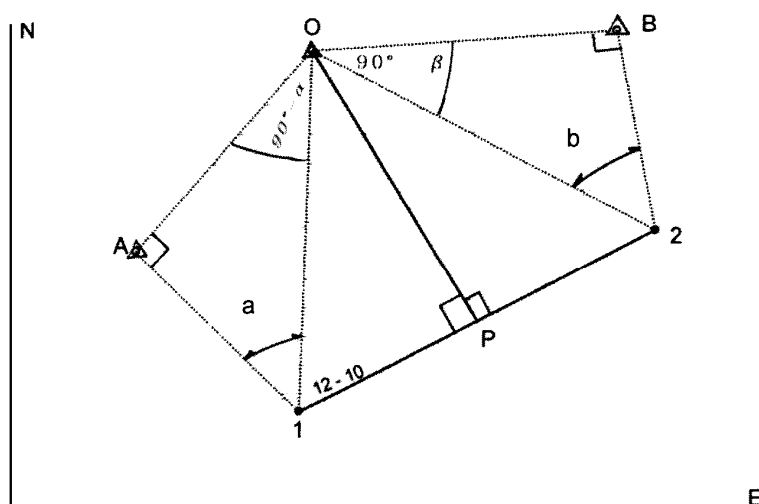



Figura 6.18

A utilização de dois pontos auxiliares 1 e 2 constitui a base para o algoritmo, proposto a seguir, sendo ilustrada na fig. 6.18.

As coordenadas destes pontos podem ser obtidas de uma forma simples a partir das fórmulas seguintes:

$$N_1 = N_A - (E_0 - E_A)\cot g\alpha$$
$$E_1 = E_A + (N_0 - N_A)\cot g\alpha$$
$$N_2 = N_B - (E_B - E_0)\cot g\beta$$
$$E_2 = E_B + (N_B - N_0)\cot g\beta$$

Quando os pontos 1 e 2 são muito próximas um do outro (por exemplo, menos de um décimo da distância OA ou OB) pode-se presumir que a rede está próxima de uma situação de indeterminação.

O cálculo das coordenadas N e E do ponto P pode ser obtido por:

$$N = N_1 + \overline{10}.\cos.(\overrightarrow{12} - \overrightarrow{10}).\cos.\overrightarrow{12}$$
$$E = E_1 + \overline{10}.\cos.(\overrightarrow{12} - \overrightarrow{10}).sen.\overrightarrow{12}$$

Onde:

$\overline{10}$ = à distância entre 1 e 0 = $\sqrt{(N_0 - N_1)^2 + (E_0 - E_1)^2}$

$\overrightarrow{12}$ = azimute cartográfico de 1 para 2 $\left[tg\overrightarrow{12} = (E_2 - E_1)/(N_2 - N_1)\right]$

$\overrightarrow{10}$ = azimute cartográfico de 1 para 0 $\left[tg\overrightarrow{10} = (E_0 - E_1)/(N_0 - N_1)\right]$

Quando se calcula a orientação $(\overrightarrow{12}, \overrightarrow{10})$ é necessário descriminar os quadrantes com os sinais de ΔE e ΔN. Para esse propósito podem ser usadas as subrotinas usuais para passar das coordenadas planimétricas para as coordenadas polares.

Outra forma de resolver a última parte dos cálculos consiste em obter as coordenadas de P através da perpendicular ao segmento 12 que passa por O recorrendo às subrotinas disponíveis nos programas de Desenho Assistido por Computador (CAD).

Podem ser estabelecidos alguns cálculos de verificação, no entanto, o método mais completo consiste no cálculo dos azimutes cartográficos a partir do ponto P para os pontos coordenados (A, O, B)e de seguida verificar se:

$$\alpha = \overrightarrow{PO} - \overrightarrow{PA}$$
$$\beta = \overrightarrow{PB} - \overrightarrow{PO}$$

2.2.6. O Nivelamento e os seus Erros

O nivelamento trigonométrico e os possíveis erros foram discutidos no ponto 2.2.3 (poligonais). Deve notar-se que, no caso das intersecções pode ser efetuada uma operação semelhante com os algoritmos e com os cálculos resultantes. Também é possível a sua aplicação nos levantamentos utilizando coordenadas polares ou taquimetria com EODM, caso em que é particularmente útil ter uma estação total que guarde os valores das distâncias e direções (horizontais e verticais) para os pontos observados. No processamento dos dados adquiridos, quando são usadas distâncias

superiores a 100 m é importante verificar se a aplicação do software inclui correções para a refração e para a curvatura da terra.

O nivelamento geométrico (com mira ou níveis de auto-nivelamento) é geralmente mais preciso. No caso do nivelamento geodésico, que exige a utilização de níveis de maior sensibilidade, estádias graduadas em invar (uma liga de níquel e aço, com um coeficiente de expansão abaixo de 1×10^{-6} 1/°C) e outras medidas de precaução, a propagação dos erros pode ser inferior a:

$$1\ mm\sqrt{K}$$

onde **K** é a distância dos vários troços expressa em km.

Se forem usados níveis topográficos comuns com miras de madeira ou de plástico graduadas em centímetros com juntas ou acoplamentos e se mantiver a distância entre o nível e as miras inferior a 100 m, com estações equidistantes (dentro de 3 m), pode obter-se uma exatidão da ordem de:

$$7mm\sqrt{K}$$

para os quais se presume que cada secção entre marcas de nivelamento é medida em ambas as direções, com uma tolerância da ordem de:

$$\pm 3mm\sqrt{K}\ \text{(geodésico) e}\ \pm 10mm\sqrt{k}\ \text{(topográfico)}$$

para ambos os casos, sem uma tendência para qualquer solução intermédia ou até menos exata que possa ser adotada.

Nos levantamentos hidrográficos é requerida a máxima exatidão para nivelar as estações maregráficas permanentes. Depois, nos requisitos de exatidão vêm as estações temporárias, que são geralmente estabelecidas durante o levantamento, e o cálculo dos níveis para as instalações portuárias e as normas para obras de engenharia associadas com o comportamento da água.

Num levantamento hidrográfico extenso (mais de 50 km) se não houver um *datum* vertical disponível no local, deve ser providenciada, no mínimo, uma linha de nivelamento geométrico à qual as estações maregráficas podem ser relacionadas e deve ser deixada uma marca de referência para que, no futuro, possa ser realizado um nivelamento trigonométrico a partir da mesma. Ao realizar estas precauções as especificações do ponto 2.1.6 devem ser consideradas e é necessário realizar uma análise da estabilidade da relação entre a estação maregráfica e o nível médio do mar.

Ao usar métodos de posicionamento por satélite (GNSS) para fins altimétricos, o disposto no ponto 2.1.6 e no capítulo 2 deve ser tido em consideração, especialmente o requisito para modelar as correções necessárias para converter as alturas acima do esferóide (alturas elipsoidais) para os valores associados ao nível do mar utilizados nos levantamentos hidrográficos. Independentemente da existência de modelos de correção, é necessário ajustá-los aos pontos altimétricos conforme é descrito no ponto 2.2.1, incluindo as disposições da Fig. 1, em ligação com a relação entre as marcas altimétricas. Por outras palavras, a utilização de técnicas GNSS para efeitos altimétricos deve ser limitada à interpolação dos pontos ao invés da sua extrapolação. Este conceito é susceptível de evoluir no futuro, mas em 2004 ainda não existe confiança nos modelos gerais de correção, muito menos nas áreas onde não há garantia de que tenham sido realizadas observações locais para os determinar.

2.3. Levantamentos Topográficos Costeiros e Portuários

2.3.1. Aplicação Métodos Topográficos Diretos/Clássicos

Em geral, os levantamentos topográficos costeiros que fazem parte dos levantamentos hidrográficos são realizados sobretudo por fotogrametria ou outro método de detecção remota. Nesses casos, a tarefa principal do hidrógrafo no processamento da informação consiste em obter uma interpretação adequada das estruturas costeiras, uma vez que a delimitação do litoral não representa qualquer dificuldade e que as coordenadas dos pontos de controlo em terra estão disponíveis. O hidrógrafo deve também assegurar que as marcas e estações de ajudas à navegação têm as componentes da sua posição horizontal e vertical corretamente determinadas.

No entanto, existem casos em que todas essas informações devem ser obtidas através de um levantamento topográfico com métodos diretos, ou seja, observações de campo e medições. Estes casos estão geralmente relacionados com a necessidade de representar determinadas áreas em escalas grandes (1:5000, 1:2000, 1:1000...). Isso geralmente ocorre em áreas onde há uma infra-estrutura portuária ou um projeto portuário de desembarque, de tomada de água ou onde estão a ser realizadas outras obras de engenharia, ou a prolongar-se para ocupar a zona entre-marés e a estender-se para uma faixa perto da costa.

A reduzida extensão de tais áreas, bem como o necessário grau de detalhe, pode requerer que tais levantamentos sejam realizados através de medições topográficas no campo.

2.3.2. Densidade dos pontos a serem levantados

Em primeiro lugar deve ser estabelecido o grau de pormenor exigido. O método usual consiste na definição de uma escala de acordo com as necessidades de representação do produto final. Para se obter a forma adequada, pode ser necessário coordenar um ponto a cada centímetro quadrado. No entanto, essa distribuição não deve necessariamente ser homogénea. Deve ser dada prioridade aos locais onde há uma mudança significativa no declive ou onde existem características marcantes, tais como: morros, buracos, depressões do terreno, cumes, etc.

Geralmente a topografia através da coordenação de pontos em linhas quase perpendiculares à linha da costa proporciona informação mais adequada para uma boa representação da sua forma que qualquer outro tipo de distribuição.

Para os detalhes que devem ser levantados para possibilitar a representação de elementos naturais ou artificiais, mais ou menos independentemente do relevo, a quantidade de pontos deve ser adequada para ser capaz de os representar à escala prevista. Secções retas, provavelmente, só exigem o levantamento de pontos de viragem e, se forem ortogonais, a simplificação pode ser ainda maior.

2.3.3. Métodos Aplicáveis

As técnicas de posicionamento por satélite (GNSS) são ideais para o posicionamento horizontal. Caso se pretendam utilizar para o posicionamento planimétrico e altimétrico, devem ser consideradas as disposições referidas em 2.2.1. Geralmente, o processo é mais vantajoso quando a densidade dos pontos a serem coordenados é baixa (ou seja, mais de 50 ou 100 m entre pontos para as escalas de 1:5000, 1:10000, etc.). Caso o terreno permita, o levantamento pode ser realizado colocando a estação remota num veículo. A possibilidade de processar os dados de uma forma totalmente automática melhorará a rapidez na obtenção dos resultados finais.

A medição de distâncias com um distanciómetro electro-óptico (EODM) é particularmente apropriada para casos em que, nalgumas estações, os pontos com distâncias superiores a 1000 metros podem ser coordenados. A utilização de estações totais com a capacidade de armazenar os dados sobre a medição de distâncias, direções (horizontal e vertical), atributos dos pontos

pesquisados, etc., torna possível aumentar a rapidez do processamento da informação e gerar as folhas de observações adequadas, que podem ser completadas com dados adicionais, se necessário.

O método da medição de distâncias com estádias é adequado para os locais onde se pretende efetuar o levantamento de um grande número de pontos muito próximos uns dos outros (50, 20, 10 m) a distâncias relativamente curtas (200 m) de cada estação. A leitura das linhas do retículo é feita geralmente numa mira graduada em centímetros.

A distância no terreno é obtida fazendo **K.m**, onde **K** é a constante estadimétrica, geralmente 100, e "**m**" é a diferença das leituras na mira. Se o ângulo de elevação **α** foi medido, a distância horizontal entre equipamento e a mira é:

$$K.m \cos^2\alpha$$

e a elevação em relação ao ponto pesquisados é igual a:

$$\Delta H_{12} = i_1 \text{-} S_2 + K.m.\frac{1}{2}sen2\alpha_1$$

onde $\mathbf{i_1}$, $\mathbf{S_2}$ e $\boldsymbol{\alpha_1}$ têm os significados indicados em 2.2.3 para os nivelamentos trigonométricos.

No caso de linhas com uma inclinação muito grande (α> 10 °), este método não é recomendado para transferência de cotas uma vez que o erro da distância (da ordem de 0,2%) e a provável falta de verticalidade da visada introduz consideráveis erros altimétricos (isto é menos frequente na medição de distâncias com um distanciómetro electro-óptico EODM).

Com miras especiais com divisões de 5 cm ou 10 cm, os intervalos do levantamento podem-se estender a 500 metros ou mais, embora não seja aconselhável no caso de linhas com uma inclinação da visada muito grande, pelas razões indicadas acima.

Todos esses procedimentos permitem o cálculo, a partir das fórmulas acima, das 3 coordenadas horizontais e verticais de cada ponto. Em alguns casos, estas coordenadas e as orientações podem ser obtidas por visadas inversas complementadas com um nivelamento trigonométrico inverso, com base na adequação das fórmulas indicadas no ponto 2.2.3.

Em áreas planas o nivelamento direto é um método simples e preciso. Se for necessário também poderão ser utilizadas distâncias estadimétricas (K.m), tal como as direcções horizontais que podem ser determinadas com outros instrumentos.

Em locais relativamente planos, para construções com formas ortogonais, pode ser feita a medição de distâncias perpendiculares usando fitas métricas e um esquadro óptico. Embora básico, demonstra ser um método útil para ser aplicado em alguns lugares tais como docas, cais, amarrações e outras construções portuárias. Este tipo de levantamento é normalmente complementado com um nivelamento geométrico para determinar as cotas da plataforma ou do terreno.

2.3.4. Representação do Relevo

Embora a tendência seja para gerar bases de dados que oferecem uma variedade de aplicações para obter informações através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o que implica a disponibilidade de um Modelo Digital do Terreno (DTM), as medições planimétricas e altimétricas são frequentemente solicitadas para representação pelas linhas de contorno. Para este efeito, a seleção de um intervalo de contorno deve ser feita a não menos que quatro vezes a estimativa do erro das cotas.

Um método alternativo de selecionar o intervalo de contorno é o das escalas. No caso de ser um terreno com um elevado relevo, o denominador da escala milésima parte pode ser medido em metros (exemplo: 5 m de 1:5000), mas caso seja um terreno plano e sem irregularidades, os valores podem diminuir a um décimo (0,5 m no exemplo anterior).

Ambos os critérios devem ser harmonizados e, tanto o objetivo do levantamento, como a variação do relevo na área devem ser tidos em conta.

Existem vários pacotes de software disponíveis que permitem desenhar linhas de contorno de pontos coordenados discretamente. Alguns deles revelaram-se muito capazes, sendo no entanto conveniente ajustar os seus algoritmos de desenho incorporando algumas regras de interpretação para o relevo antes da versão final.

A fig. 6.19 mostra como as linhas de drenagem tendem a enfatizar a curvatura das curvas de nível, enquanto nas cordilheiras, onde o movimento da água é mais uniforme em toda a superfície, são mais suaves. Estas tendências geralmente provocam mudanças e os contornos que no conjunto representam o relevo devem manter alguma uniformidade.

Os conceitos acima mencionados são válidos para a forma de terra, no entanto, nem todos são válidos para o fundo marinho.

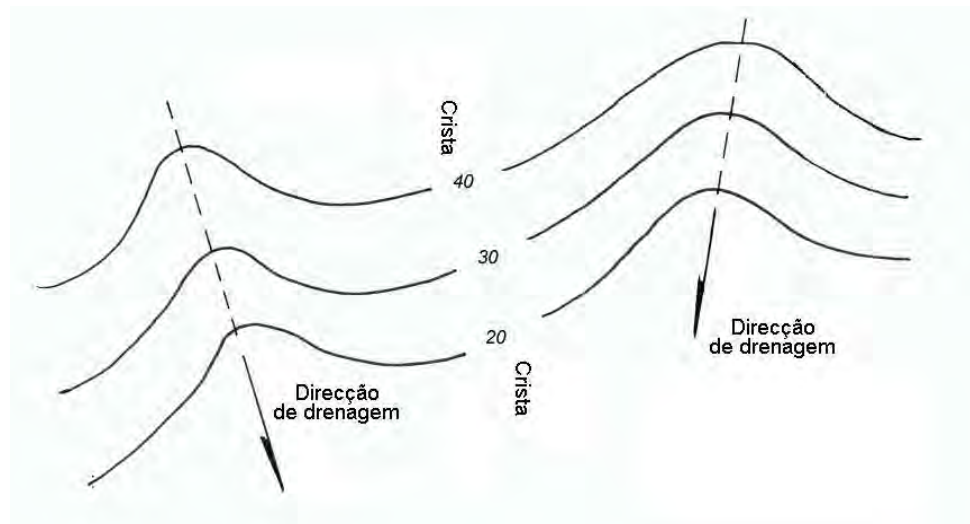



Figura 6.19

Com algum conhecimento geomorfológico, podem ser melhorados os critérios para uma melhor interpretação do relevo.

3. DETECÇÃO REMOTA

Algumas técnicas para obtenção de informação através de sensores remotos, que captam a radiação emitida pelo solo, serão descritas nesta secção. Esta informação é armazenada e posteriormente processada de modo a gerar produtos que providenciem dados topográficos.

Se a radiação do solo é devida à energia solar refletida, os sensores são chamados de passivos. Se é devida à energia emitida por sistemas associados aos sensores, os sensores são chamados de ativos.

A distribuição de frequências e comprimentos de onda para as ondas eletromagnéticas usadas em detecção remota está descrita na tabela 6.4.

Tabela 6.4

NOME	FREQUÊNCIA (Hz)	COMPRIMENTO DE ONDA (m)
Microondas	3×10^{9} a 3×10^{11}	10^{-1} a 10^{-3}
Infravermelho Térmico	3×10^{13} a 3×10^{12}	10^{-5} a 10^{-4}
Infravermelho e infravermelho próximo	$4,3 \times 10^{14}$ a 3×10^{13}	$0,7 \times 10^{-6}$ a 10^{-5}
Visível	$4,6 \times 10^{14}$ Vermelho … $5,4 \times 10^{14}$ Verde … $6,6 \times 10^{14}$ Azul	$0,65 \times 10^{-6}$ … $0,55 \times 10^{-6}$ … $0,45 \times 10^{-6}$
Ultra-Violeta	3×10^{15} a 3×10^{16}	10^{-7} a 10^{-8}

As ondas rádio usam as frequências mais baixas, enquanto que os raios X, gama e cósmicos usam as mais altas. Eles também possuem outras aplicações.

Dentro das aplicações dos sensores passivos, que usam a parte visível e próxima do visível da radiação eletromagnética, está a Fotogrametria. Desde que esta técnica começou a ser aplicada com recurso a películas sensíveis à luz que começou a ser usada em levantamentos hidrográficos (início do século XX), permanecendo até à atualidade como um dos métodos mais eficientes de obtenção de informação fiável sobre o relevo, especialmente para grandes escalas (1:20000, 1:10000, 1:5000,...).

Desde a década de 70 e mais intensivamente desde os anos 90, alargou-se a aplicação da detecção remota, para além dos sensores ativos e passivos instalados em meios aéreos e satélites. Geralmente, no que respeita à interpretação da morfologia do solo os métodos com recurso a satélites não possuem a mesma capacidade que a fotogrametria. No entanto, têm capacidades adicionais para detecção das propriedades superficiais dos terrenos e das áreas cobertas por água. Também oferecem, a relativamente baixo custo, capacidades impressionantes de atualização de informação.

Na fotogrametria, tal como noutros processos de obtenção de imagens, torna-se necessário criar estruturas de controlo de operações de forma a obter resultados de escala corretos e boas posições de referência. O controlo no terreno consiste em localizar pontos no terreno, identificáveis através da informação providenciada pelos sensores.

3.1. Fotogrametria

(ver # 3.4 – Cap. 2)

De uma forma simplista, a fotogrametria pode ser definida como uma técnica que permite a descrição tridimensional de objetos, partindo de imagens sobrepostas, obtidas de locais adjacentes. Para levantamentos hidrográficos, a fotografia aérea com um eixo vertical métrico é mais útil.

A descrição 3D é obtida através da visão estereoscópica de modelos virtuais onde as medições são efetuadas, recorrendo a instrumentos específicos de modo a obter uma representação topográfica. Evidentemente, esta técnica requer pontos de controlo no terreno obtidos por métodos topográficos tradicionais ou por métodos de identificação fotogramétrica, também conhecidos por aerotriangulação. Existem outros produtos que apesar de não serem 3D, podem ser considerados como parte da fotogrametria. Entre eles estão os ortofotomapas, obtidos simplesmente da junção de várias imagens retificadas (escala e inclinação).

3.1.1. Princípios e Aplicações da Fotografia Aérea

O objetivo das fotografias aéreas é recolher informação de modo a obter uma verdadeira representação topográfica, incluindo o relevo. Isto pode ser feito através de restituição fotogramétrica ou de compilação estereoscópica. No entanto, e como atestado anteriormente no conceito de fotogrametria, existem outros produtos 2D, cuja obtenção pode ser feita a partir de fotografia aérea.

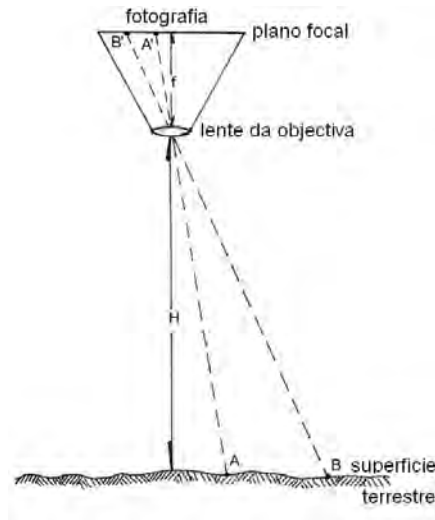



Figura 6.20

Para explicar isto é necessário ter em consideração a expressão básica para a escala da fotografia aérea:

$$S = \frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{H}$$

Onde o quociente entre o comprimento focal **f** e a altitude de voo **H** estão diretamente relacionados com a escala da imagem (Figura 6.20 para uma câmara com eixo vertical). Apesar das objetivas das lentes poderem ser consideradas como o centro óptico de um sistema com dois nodos, o esquema é simplificado com um único centro óptico semelhante a uma lente fina. Essa simplificação é suficiente para o cálculo aproximado da escala de voo. É de salientar também que, sendo H >> F, então é assumido que a imagem é formada no plano focal.

Uma alteração na altitude de voo provoca uma alteração na escala; a falta de verticalidade no eixo da câmara produz uma alteração de escala em pontos diferentes na câmara. Por exemplo, um retângulo ABCD no terreno, pode ser representado como um trapézio A’B’C’D’ na imagem fotogramétrica, onde a escala dos segmentos A’B’ é menor que em C’D’ (Figura 6.21).

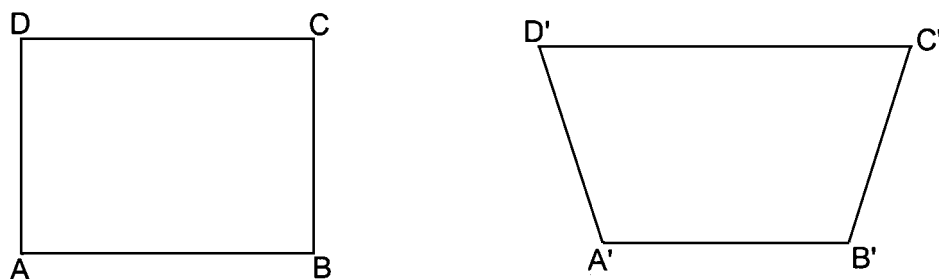



Figura 6.21

Para além disso, caso haja algum acidente topográfico no relevo com significativo desenvolvimento vertical, a escala introduz mais alterações em cada fotografia. Isto só pode ser resolvido recorrendo a um tratamento 3D, como por exemplo a restituição. Um ajuste na altura de voo e na orientação do eixo é possível através de uma retificação por processos 2D. De notar que, este ajuste só é possível em superfícies planas.

Equipamento apropriado pode levar a cabo o processo de retificação mencionado anteriormente, usando retificadores da própria câmara, que projetam a imagem numa tela ou superfície. O conjunto permite uma série de movimentos combinados que possibilita alterações na imagem projetada e inclui declives de acordo com as condições de focagem. Atualmente, para a retificação projetam-se quatro pontos bem distribuídos, para que coincidam com as suas posições bem conhecidas no terreno (Figura 6.21). Também existem procedimentos 2D para resolver estes problemas.

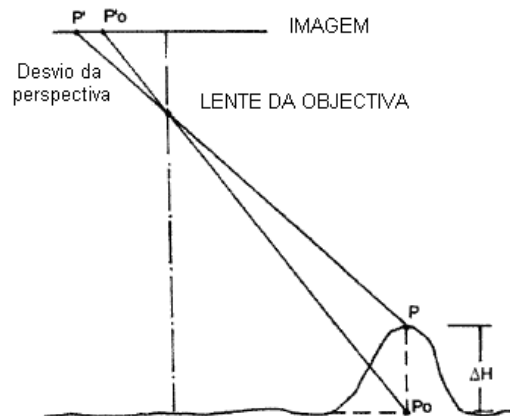



Figura 6.22

Os limites para estes processos encontram-se na própria imagem de um ponto com uma certa diferença em elevação relativamente à área envolvente, que sofre um desvio de perspectiva na imagem (Figura 6.22). Para além da diferença em elevação ΔH (delta H), a distância do ponto ao eixo vertical da câmara aumenta o desvio, ou seja, os pontos próximos do eixo vertical da câmara não produzem desvios significativos. Uma forma alternativa de gerar imagens fotográficas isentas deste efeito é combinar os processos fotográficos com tratamentos 3D, cujo resultado se designa por ortofotografia.

A melhor forma de apresentar imagens fotográficas do terreno é através de um ortofotomapa, o que não é mais do que um conjunto de imagens que formam um mosaico ou um mapa com uma escala uniforme. Seguidamente, em termos qualitativos, está o ajuste da retificação do mosaico, tal como mencionado anteriormente. O método mais grosseiro é através da montagem de imagens não tratadas e aceitar uma escala aproximada em função da altitude média do voo em que foram obtidas as respectivas imagens.

3.1.2. Elementos de aquisição da fotografia aérea.

A radiação solar irradia energia com comprimentos de onda compreendidos entre 0.4 a 0.8 micrómetros (1 micrómetro $\mu m = 10^{-6}$ m), que se situa no espectro eletromagnético, entre o infravermelho e o azul (Tabela 6.4). A radiação sofre alterações quando passa através da atmosfera, tal como a reflexão no terreno também perturba o espectro da luz solar recebido pela câmara. Por isso, o filme e a emulsão escolhidos para registar as imagens terá de ser cuidadosamente escolhido.

Entre os filmes a preto e branco, as emulsões ortocromáticas são especialmente úteis entre os 0.4 e 0.55 µm, enquanto que as emulsões pancromáticas o são entre os 0.3 e 0.65 µm, com um aumento adicional em comprimento de onda de 0.6 e 0.9 µm. A emulsão mais eficiente em fotogrametria aérea é a pancromática. Existem vários tipos de filmes a cores de 3 camadas, mas são mais úteis para interpretação fotográfica, descrito mais adiante (3.1.8), do que para fotogrametria.

Existem uma série de especificações no que diz respeito à densidade, velocidade, capacidade de processamento, granularidade e estabilidade que devem ser determinadas de modo a obter o melhor resultado nas condições prevalecentes para ir ao encontro das necessidades do produto final. O tipo de objetiva e filtros é uma das questões a ser abordada aquando da análise. A lente da objetiva é composta por um sistema óptico onde uma boa correção à distorção é requisito fundamental.

O formato de imagem mais comummente usado é o de 23 x 23 cm, com distâncias focais (f) (ver 3.1.1) detalhadas na tabela 6.5.

Tabela 6.5

Tipo de Câmara	f (mm)
Super grande angular	85
Grande angular	153
Ângulo intermédio	210
Ângulo normal	305
Ângulo estreito	610

Câmara com uma distância focal curta (f) requerem uma melhor retificação da distorção sendo também as mais afetadas pela refração atmosférica. A grande angular é o tipo de câmara mais comum.

Para fins fotogramétricos, uma câmara aérea terá de ter uma boa determinação de “f”, uma correção rigorosa da distorção e outras condições ópticas e mecânicas dever ser verificadas por calibração. Esta, será apelidada de “Câmara métrica” se todas estas condições se verificarem. Estas câmaras possuem um sistema bastante preciso de verificação da verticalidade do seu eixo e da planificação do filme. Para além disso, também têm um controlo de paragem de filme e permitem um bom controlo da sobreposição de imagens ao longo das consecutivas fotografias.

Apesar de as câmaras digitais geralmente permitirem imagens de alta qualidade para fotografias, o seu desenvolvimento para aplicações na fotogrametria está a avançar muito rapidamente, mas atualmente (2004) apenas câmaras não métricas estão disponíveis.

Um importante componente para fotografia aérea é a plataforma usada. Os seus critérios incluem espaço disponível para a câmara e para os seus componentes e acessórios, capacidade de operar nas altitudes e velocidades requeridas, não ultrapassar os limites de vibração, etc..

Entre outros requisitos, terá de possuir posicionamento GNSS, e se possível com capacidade diferencial, um requisito necessário para a sincronização do posicionamento com a câmara e as múltiplas antenas usadas na verificação da inclinação da plataforma.

3.1.3. Planeamento de Voo.

Inicialmente é necessário definir a escala do voo, ou seja a escala da câmara, que, tal como foi dito no § 3.1.2, tem um formato de 23 x 23 cm. Se o tipo de câmara é definido, a escala também determina a altura do voo H = f/S (§ 3.1.1 fig. 6.20). Apesar da escala poder ser aumentada até 5 vezes de modo a obter bons produtos fotogramétricos de forma a ir ao encontro dos requisitos

hidrográficos, a análise da exatidão da altimetria requerida deverá ser efetuada. Deverá ser tido em atenção o fato do desvio da elevação obtido por restituição poderá atingir as 200 ppm x H (200 partes por milhão da altitude do voo = H/5000). Por vezes, isto pode torná-lo irrealizável e os requisitos da altimetria terão de ser obtidos por outros meios.

Depois de definido a escala de voo, a cobertura de voo deverá ser estudada. Nos casos mais simples, a zona costeira poderá ser coberta por um conjunto de faixas retilíneas (fig. 6.23).

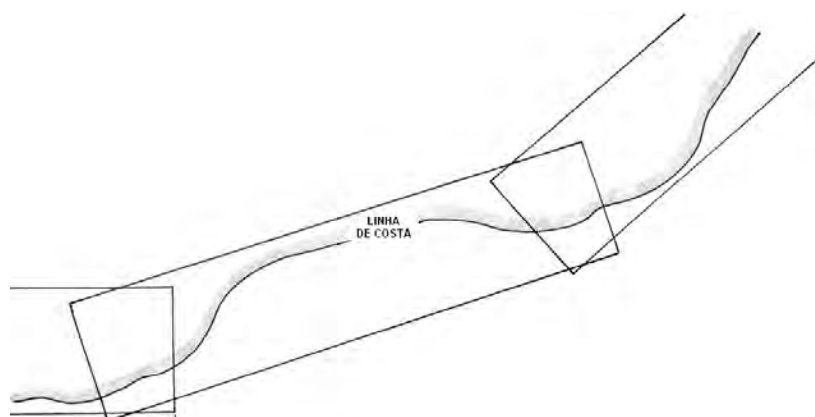



Figura 6.23

Quando as características da zona costeira são extensas, coberturas mais largas de modo a cobrir mais terreno são necessárias. Neste caso, várias faixas de cobertura deverão ser planeadas (fig. 6.24).

Adicionalmente, as sobreposições no fim e nos lados da faixa de cobertura deverão ser planeados; Geralmente, a sobreposição no final da faixa é de 60% e lateralmente de 20%. Quando ortofoto imagens são necessárias (§ 31.1.) ou quando o relevo no terreno é tão irregular que existe a possibilidade de certas partes não possuírem informação estereoscópica, pode haver necessidade de aumentar a sobreposição entre faixas.

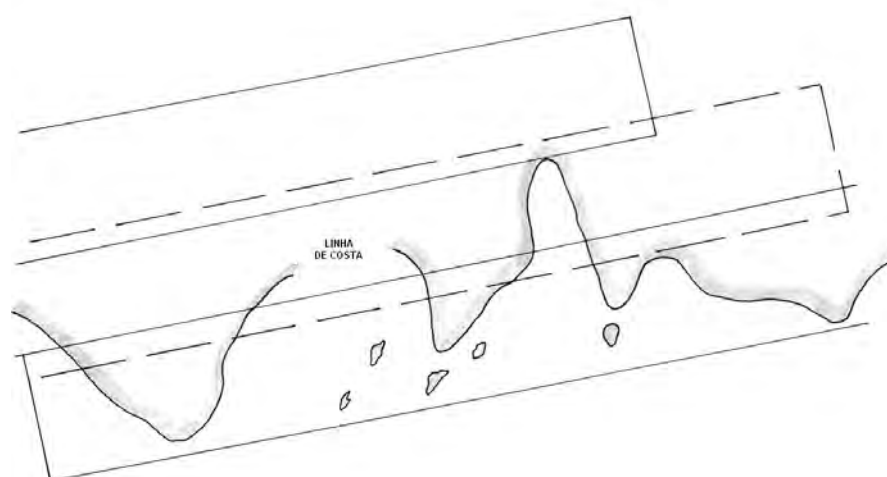



Figura 6.24

A altitude do Sol e a sua declinação deverão ser tomados em consideração, particularmente em zonas de latitude mais elevada (φ> 50º) durante o Inverno. De forma a garantir que sombras não

interferem com a qualidade da imagem, a declinação do Sol deverá ser superior a 30º. Quanto mais irregular e recortado for o terreno, maior terá de ser a declinação solar. A duração do voo poderá ser limitada em função da altura do ano e da latitude.

Um limite adicional para os levantamentos hidrográficos é o fato de os voos deverem ocorrer próximo da baixa-mar, de forma a permitir a detecção de toda a morfologia e perigos na área intertidal.

O céu deverá estar limpo abaixo da altitude de voo enquanto que outras condições meteorológicas deverão ser satisfeitas durante a operação. Todas estas limitações combinam-se para tornar o voo mais longo e o plano de voo mais complexo.

O controlo no terreno e a sua intensificação por aerotriangulação deverá ser considerado aquando do planeamento do voo, permitindo assim a oportunidade de realizar tarefas no terreno pela equipa operacional ainda presente na área.

Se a sobreposição das faixas de cobertura for de 60 % ou mais, existe uma zona de cerca de 20 % de tripla sobreposição (fig. 6.25).

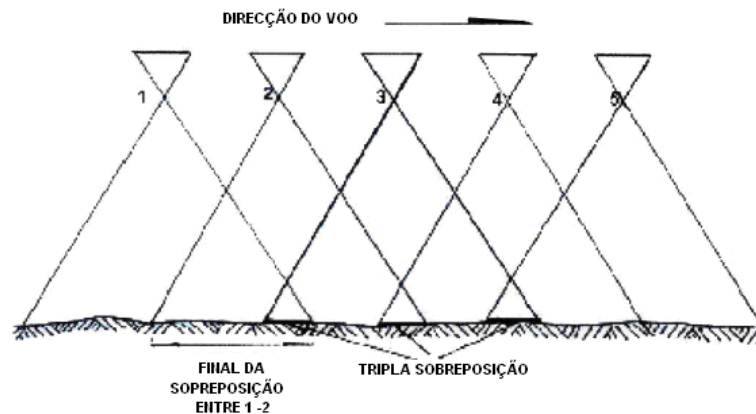



Figura 6.25

Nesta zona, tal como na sobreposição lateral (fig. 6.24), pode ser realizada aerotriangulação.

3.1.4. Restituição

A técnica de restituição fotogramétrica é um processo básico no tratamento 3D da informação topográfica, onde geralmente as imagens aéreas são comummente usadas. A restituição é levada a cabo nos processos ópticos, mecânicos, analíticos ou digitais na zona de sobreposição da fotografia adjacente, fato que permite a observação estereoscópica.

Em qualquer versão, torna-se necessário determinar a orientação relativa e absoluta do modelo que representa a parte do terreno que está a ser observada.

Um par de fotografias é orientado intersectando cinco pares de raios homólogos correspondentes a cinco pontos no terreno. Este processo é obtido removendo a sua paralaxe através de projetores de movimento ou por qualquer outro processo digital. Não é necessário um conhecimento prévio das coordenadas dos pontos selecionados, no entanto é aconselhável escolhê-los na zona sobreposta (fig. 6.26).

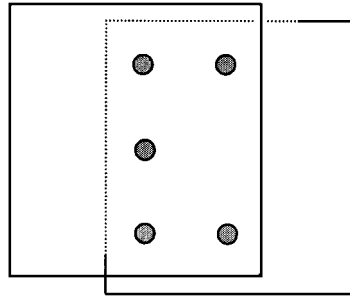



Figura 6.26

Tendo concluído este processo, é criado um modelo 3D, no entanto nem a sua posição na quadrícula de referência nem a sua escala foram ainda definidos. Por outras palavras, apenas uma posição relativa das fotografias coincidentes com a câmara durante o voo numa escala e quadrícula de referência desconhecida. É possível observar todo o modelo estereoscopicamente enquanto se observam as posições das imagens obtidas. Para atribuir uma escala ao modelo e referenciá-lo de uma forma compatível com o levantamento, as posições tridimensionais de dois pontos (por exemplo 1 e 2 da fig. 6.27) e a altitude de um terceiro terão de ser conhecidos. No entanto é preferível conhecer as três coordenadas dos pontos 1,2,3 e 4, o que permite alguma verificação.

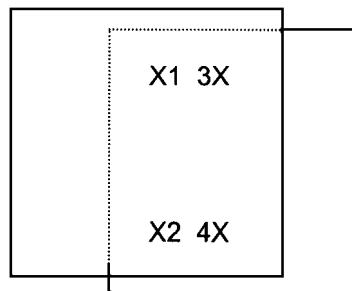



Figura 6.27

É claro que este ajuste pode ser efetuado de uma forma analógica, através de processos ópticos ou mecânicos, ou por processos numéricos, através de restituidores analíticos ou digitais.

Com os modelos orientados de forma absoluta, é possível obter uma representação topográfica do relevo e das infra-estruturas. As linhas de contorno podem ser traçadas por meios analógicos ou digitais. No caso deste último, é possível criar um modelo digital de terreno (MDT), com uma resolução adequada. Presentemente, para obter cópias digitais da informação, a forma mais simples é através da digitalização de alta resolução das fotografias aéreas. No entanto, no futuro a informação virá diretamente das câmaras digitais.

3.1.5. Aerotriangulação

Tal como foi descrito em 3.1.4, para a orientação absoluta de um modelo estereoscópico, é necessário conhecer as coordenadas tridimensionais de quatro pontos distribuídos de acordo com a fig. 6.27. No entanto, as coordenadas de dois pontos e a altitude de um terceiro poderá, em princípio, ser suficiente.

Para obter tal controlo, tem vindo a ser desenvolvido um processo interno pela fotogrametria, minimizando o trabalho de campo: a Aerotriangulação.

O primeiro processo desta técnica consiste em determinar a orientação absoluta do primeiro modelo, e passá-la para o segundo modelo adicionando-lhe uma terceira imagem. Tendo completado todos os movimentos na projeção da terceira imagem, sem modificar as alterações previamente realizadas na orientação do segundo modelo, fica concluída a transferência da orientação absoluta. È possível repetir todo este processo, no entanto podem surgir deformações. Aparte do desvio, deverão ser considerados os efeitos provocados pela curvatura terrestre e pela refração da luz. Por esta razão, é necessário ajustar a faixa de cobertura adicionando pontos de controlo no terreno.

Figura 6.28

Uma faixa com quatro pontos de controlo iniciais, quatro de controlo final e dois pares intermédios é exibida na fig. 6.28. Os pares intermédios deverão estar presentes em seis modelos de forma a resolver as deformações e evitar a propagação dos desvios. Ambos os pontos de controlo e os sobrepostos, deverão estar presentes na zona de tripla sobreposição e quando necessário na sobreposição lateral, de forma a garantir a restituição. Apesar da distribuição descrita corresponder à dos processos de aerotriangulação analógica, a experiência hidrográfica mostra que frequentemente um ponto de controlo na zona costeira ainda é válido (fig. 6.23). Isto também é válido quando o ajuste à faixa de observação é realizado através de modelos independentes, com recurso a processos analíticos. Neste caso, o método usual é o de anotar as coordenadas de cada modelo e posteriormente ajustá-las em termos numéricos, depois de todas as orientações relativas tiverem sido determinadas.

Quando existem diversas faixas com sobreposição lateral (ver fig. 6.24), o ajustamento com modelos independentes pode ser completado com algumas vantagens relativamente ao modelo rígido.

Os pontos sujeitos à aerotriangulação são:

a) Pontos de controlo no terreno;

b) Pontos intermédios;

c) Pontos adicionais para controlo da restituição ou pontos conspícuos que requerem cálculos específicos.

Relacionando as coordenadas dos pontos de controlo no terreno com os pontos intermédios, pode-se ajustar essa faixa de observação. Como resultado, as coordenadas dos pontos intermédios e de qualquer ponto adicional pode ser obtido e expresso na quadrícula referencial onde constam todos os pontos de controlo.

Existem sete parâmetros para cada modelo de transformação num processo normal: uma escala, três parâmetros de translação e três de orientação. Estão disponíveis diversas versões de *software*. As básicas lidam com os processos planimétricos e altimétricos separadamente. As versões mais elaboradas são baseadas em tratamentos tridimensionais com uma importante análise estatística que tende a limpar a influência de *outliers*. Com este tipo de blocos, a quantidade de pontos de controlo no terreno pode ser minimizado.

Existe uma utilização integral dos pontos de controlo e existe uma forte ligação entre os modelos, melhorando a sua rigidez. Com 5 + 0.2M pontos de controlo, podemos obter bons resultados, sendo M o número de modelos independentes que constituem o bloco. Um bloco de modelos

independentes durante o processo de ajuste pode ser observado na figura 6.29. Note-se que para além do número de pontos de controlo, a sua distribuição é importante de modo a assegurar uma rede adequada à restituição.

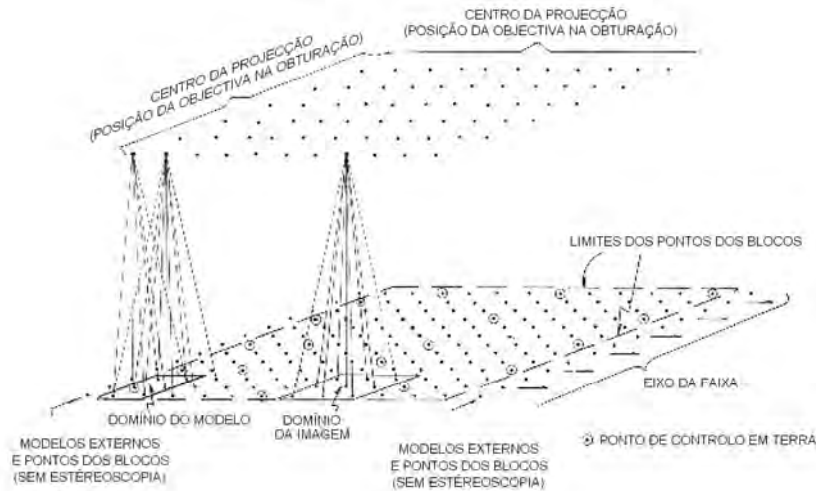



Figura 6.29

De modo a simplificar o esquema, apenas são mostrados alguns raios do centro da perspectiva para os pontos da aerotriangulação. Estes centros de perspectiva estão associados com a posição da objetiva no momento da exposição do filme. Os pontos de controlo no terreno também estão indicados, sendo alguns coincidentes com os pontos intermédios.

A fig. 6.29 também ilustra a ligação que pode ser obtida através da intercepção dos raios homólogos.

A medição das coordenadas planisféricas dentro de cada imagem, sem o processamento estereoscópico, configura estes raios apesar de terem sido escolhidos via observação estereoscópica. Através deste método, pelo menos nove pontos da imagem são usualmente medidos com uma distribuição tal como é mostrada na fig. 6.30. A estabilidade de um bloco ajustado através desta técnica de ajuste recorrendo a conjuntos de blocos é mais elevada relativamente à obtida através de modelos independentes. Ocasionalmente, um primeiro ajuste é conduzido via modelos independentes e posteriormente, partindo das coordenadas provisórias, os últimos ajustes são efetuados através dos conjuntos dos raios homólogos.

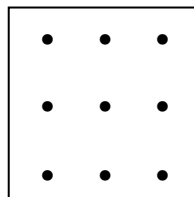



Figura 6.30

No ajuste dos blocos, para além das três coordenadas para cada ponto processado, também são criadas coordenadas para os centros de perspectiva. Existem câmaras que podem ser

sincronizadas com sistemas GNSS. Elas têm a capacidade de receber correções diferenciais; a posição dos centros pode ser introduzida no ajuste de blocos. Consequentemente, o número de pontos de controlo no terreno pode ser reduzido. Sistemas com 3 ou mais antenas estão sob desenvolvimento de forma a aumentar a capacidade de cálculo para orientação.

Existem outros meios para aumentar a capacidade de aerotriangulação, minimizando o trabalho no terreno. A obtenção de imagens numa escala mais pequena é um deles. É um processo válido para coordenadas horizontais mas não tão capaz para resolver com exatidão necessária os requisitos altimétricos. A realização de faixas transversais numa escala igual ou menor também é usada. Atualmente, para escalas pequenas (1:20000, 1:50000, 1:100000, …) estes procedimentos são evitados e substituídos por posicionamento por GNSS através da projeção de centros com o mínimo controlo no terreno.

3.1.6. Controlo Terrestre

Uma das principais tarefas dos levantamentos topográficos é a criação de pontos de controlo no terreno.

Apesar de no parágrafo 3.1.5. ser dada alguma orientação para o processo de seleção de pontos que permitem a aerotriangulação, é necessário considerar os requisitos específicos dos responsáveis pelos processos de restituição ou aerotriangulação. O objetivo deste último é o controlo da restituição descrita em 3.1.4.

A seleção do controlo antes do voo é teoricamente possível, dependendo do posicionamento dos pontos que irão ser fotografados. No entanto, o controlo é frequentemente selecionado depois do voo, identificando pontos nas imagens obtidas. Esta é uma das maneiras de contornar os problemas causados pela curta vida das marcas artificiais.

Para além da obtenção das coordenadas dos pontos de controlo, tem de ser executada a sua representação gráfica. Uma impressão inicial pode ser obtida a partir de cópias dos fotogramas ou de uma “foto-plot”. Algumas vezes, a característica no terreno que irá servir de ponto de controlo, é retirada da imagem com uma breve descrição no verso. No entanto, isto nem sempre é suficiente e é necessário adicionar uma descrição mais pormenorizada e referenciar a sua posição. Isto é importante porque por vezes não existe detalhe suficiente para definir a coordenada vertical. Por exemplo, um canto de um edifício é um bom ponto no que diz respeito às coordenadas horizontais, mas terá de haver uma boa definição do nível do terreno para se obter bom controlo vertical.

Em todos os casos, a descrição obtida “*in situ*” terá de ser compatível com a obtida através da informação estereoscópica.

A exatidão na posição dos pontos de controlo no terreno terá de ser cuidadosamente estudada, tendo em consideração os resultados obtidos na aerotriangulação para controlar a restituição. Um desvio máximo de 100 ppm da altitude de voo (H/10000) nas 3 coordenadas é aceitável. Em situações onde possam surgir dificuldades, terão de existir alternativas aceitáveis para análise. Á parte dos problemas na distribuição dos pontos de controlo no terreno, tendo em conta os ajustes para a aerotriangulação, é importante clarificar que as coordenadas dos pontos ao longo da periferia do bloco são mais úteis. Os pontos das zonas mais internas podem estar limitados á coordenada vertical **z**, apenas.

3.1.7. Generalidades sobre Restituidores. Processamento digital.

Um esquema simplificado de um restituidor pode ser visto na figura 6.31. Tem dois fotogramas de suporte (em filme ou em formato digital), nos quais podem ser lidas as coordenadas **x’y’** e **x’’y’’**. Possui também um sistema de observação (representado pelas duas oculares “*eyepieces*”) com dois trajetos (óptico, óptico/mecânico, eletrónico) internos distintos permitindo que cada olho possa ver parcialmente cada imagem, criando assim um modelo estereoscópico. Esses trajetos possuem marcas flutuantes que permitem formar um ponto que pode ser visualizado

tridimensionalmente. Estas marcas podem ser deslocadas na direção de voo recorrendo ao controlo **X**, transversalmente com o controlo **Y** e verticalmente com o **Z**.

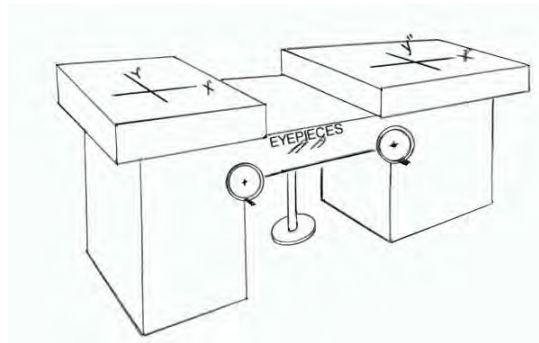



Figura 6.31

Tal como indicado na fig. 6.31, os controlos em **x** e **y** são operados por manivelas enquanto que o **z** é operado através de um pedal.

Estas coordenadas podem ser registadas através de codificadores relacionados com os movimentos em x, y e z. Pode ser-lhes aplicado um processo independente de aerotriangulação. De forma a realizar este processo através de um conjunto de raios, é necessário ter um instrumento com codificadores para registar as coordenadas do fotograma (x’, y’, x’’ e y’’).

Para além da resolução necessária para distinguir 100 ppm da altura de voo (H/10000), o instrumento para a aerotriangulação deverá possuir as características essenciais para o registo e codificação.

Naturalmente, toda a informação registada, elementos de codificação e outros relacionados com a orientação e desempenho interno do equipamento deverão estar ligados a um sistema informático, particularmente em versões analíticas e digitais (§ 3.1.4).

Nas novas versões digitais, é usado um monitor para visualizar a informação necessária para desempenhar as observações detalhadas atrás (fig. 6.51). Ambos os fotogramas são projetados alternadamente no monitor, onde o operador vê um em cada olho, através de um equipamento de observação especial (lentes polarizadas ou outro meio electro-óptico), que permitem a criação de uma imagem estereoscópica e consequentemente a possibilidade de efetuar as medições necessárias. Outros periféricos estão ligados tal como mostra a fig. 6.32. Num restituidor digital, a imagem é fornecida por uma câmara estereoscópica (CCD = *Charge Coupled Device*).

A figura 6.32 mostra um diagrama dum sistema fotogramétrico digital.

Em equipamentos eletromecânicos de restituição, o restituidor dá a versão final do trabalho, adicionalmente a impressão foi produzida analogicamente sem qualquer processo computorizado. Em versões digitais, o trabalho final consiste num conjunto de ficheiros contendo um determinado formato para futura manipulação gráfica, como por exemplo num Sistema de Informação Geográfica. Nestes casos, o uso de um restituidor é um suplemento que permite uma visão geral do processo aerofotogramétrico.

O uso de ficheiros é bastante conveniente no processamento de levantamentos hidrográficos. A informação de um processo fotogramétrico pode ser sobreposta, comparada e tornada compatível com outro tipo de informação gerada pelo trabalho topográfico ou batimétrico.

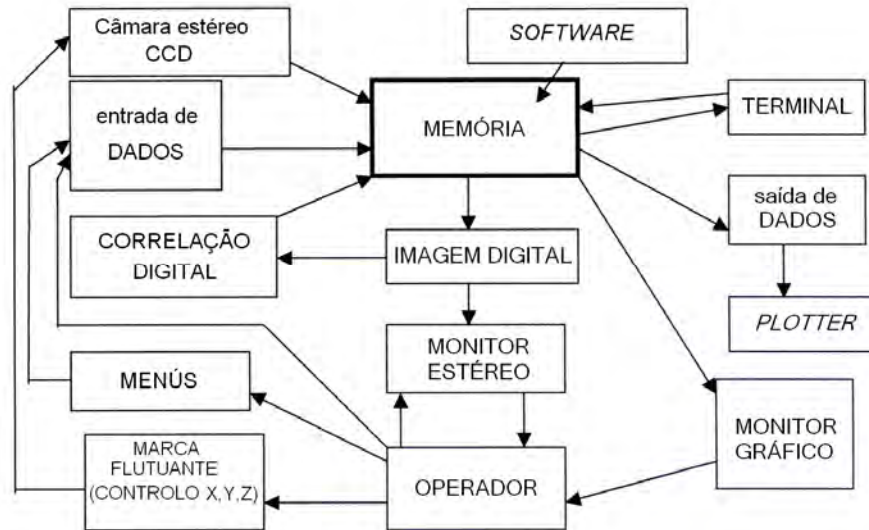



Figura 6.32

3.1.8. Interpretação fotográfica

A interpretação fotográfica envolve a inspeção das imagens fotográficas, recorrendo algumas vezes á observação estereoscópica, o que permite a identificação de objetos e algumas propriedades do terreno, vegetação, etc.

Em muitos casos, a relação entre a altitude do vôo e a topografia pode não ser suficiente para definir linhas de drenagem, tal como indicado na fig. 6.19.

Geralmente, a interpretação quer de imagens quer de fotografia, pode ser realizada por especialistas nas suas áreas de trabalho particulares. Por exemplo, um engenheiro costeiro poderá tirar melhores conclusões no que diz respeito ao comportamento de uma praia do que um hidrógrafo, uma vez que poderá analisar a dinâmica da ondulação bem como os processos erosivos mais corretamente.

Em certos casos, podem ser traçadas iso-linhas com elevada precisão a partir de imagens obtidas em períodos diferentes, não só acima da linha de preia-mar mas também na zona intertidal, definindo áreas de existência de vegetação permanente ou as linhas deixadas pela corrente da enchente de maré antes do seu recuo, ou as diferenças em tonalidade na água devido á profundidade.

Uma correta combinação entre a calibração e a observação pode ser obtida por comparação de algumas medições topográficas e/ou batimétricas. Isto pode produzir excelentes resultados. No entanto é necessário mostrar e provar a existência de uma estreita correlação entre as evidências detectadas, como por exemplo as mudanças de tonalidade e as medições. Se isto não for verificado, a base para a interpretação deverá ser revista. Algumas vezes, o comportamento de fenómenos temáticos é incorretamente interpretado na presença de zonas pouco profundas.

3.2. Detecção Remota Não Fotogramétrica

Nesta secção serão considerados apenas sistemas e métodos não-fotogramétricos. Tal como mencionado anteriormente, o termo “Detecção Remota” é aplicado na detecção de objetos e na determinação das suas posições geográficas bem como de algumas das suas propriedades sem efetuar contacto físico. Apesar do termo detecção remota cobrir todas as técnicas para observações à distância, tais como as baseadas na acústica, gravidade e mesmo na aeromagnética, atualmente essa interpretação foi restringida á energia eletromagnética.

Um sistema de detecção remota, é basicamente composto por 4 elementos (Chuvieco, 1995) (fig. 6.33):

Sistema de sensores: sensor e plataforma (inclui o veículo que os transporta até se encontrarem definitivamente em órbita);

Área: é a porção de terreno coberta, num determinado período de tempo, pelo sensor ou conjunto de sensores;

Fonte energética: O sol no caso dos sensores passivos, ou gerada pelo próprio sensor no caso dos sensores ativos.

Sistema de processamento, comercialização, interpretação e consumidor final: Envolve a estação receptora, antena, sistemas de seguimento, agências de distribuição, interação com o cliente e finalmente o consumidor final (ex: agências governamentais, defesa, universidades, companhias de serviços domésticos, etc.).

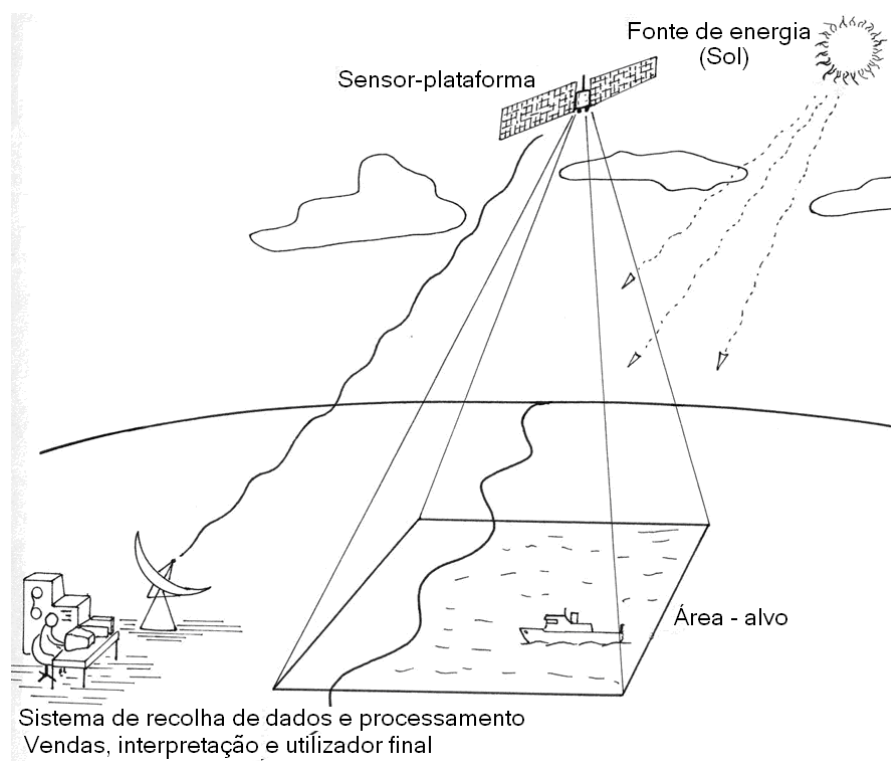



Figura 6.33 "Sistema de detecção remota (caso de sensor passivo do satélite)"

3.2.1. Satélite e sensores para detecção remota de recursos terrestres

Os satélites empregues em detecção remota de recursos terrestres usam 2 tipos de orbitas (Figura 6.34):

a) **Órbita Equatorial Geoestacionária**: o satélite encontra-se a uma distância aproximada de 36000 Km sobre um ponto fixo sobre o equador. Estes satélites apenas vêem a superfície da Terra de uma determinada forma com um único objetivo e uma função específica. i.e. O satélite meteorológico europeu METEOSAT, o americano GOES, etc..

b) **Órbita Quase polar sincronizada com o sol**. O satélite usa órbitas muito mais baixas (700 a 1200 Km) e passa sempre pelo equador á mesma hora (sincronismo solar), afastando-se uma certa distância do equador e passando perto dos pólos, i.e. SPOT, LANDSAT, NOAA, METEOR, JERS, ERS, RADARSAT, etc.

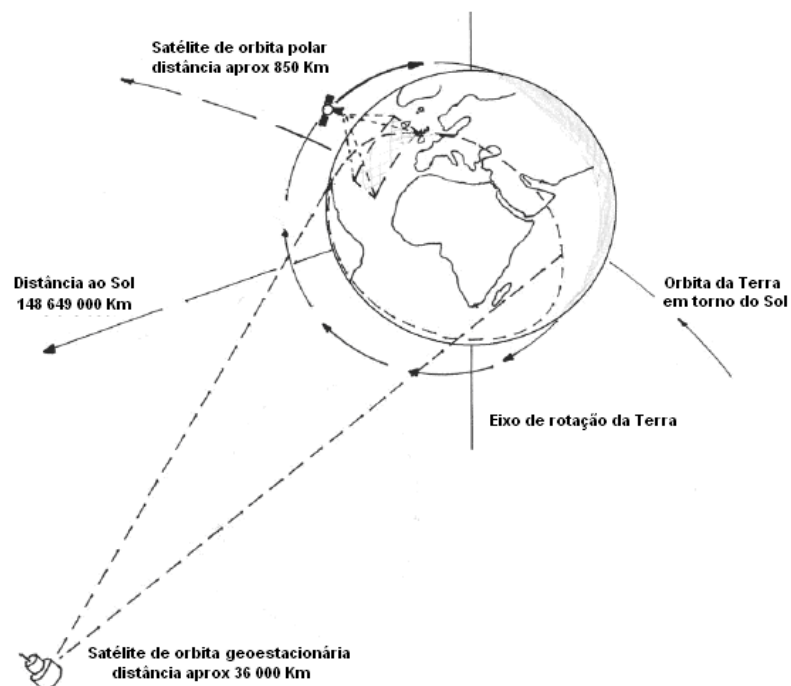



Figura 6.34 "principais orbitas dos satélites"

Os **sensores-instrumento** podem ser classificados de acordo com a sua metodologia:

a) De acordo com a **fonte energética**, estão divididos em (Figura 6.35):

   Passivos: os instrumentos capturam a energia emitida pelo sol, refletida pelo objeto observado, gerando um correspondente sinal elétrico. Exemplos: MSS e TM LANDSAT, AVHRR NOAA, HRV SPOT, MMRS SAC-C.

   Ativos: os sensores emitem energia e registam a porção que é refletida pela superfície a observar. Possuem a capacidade de obter imagens em praticamente qualquer condição meteorológica e de luminosidade, uma vez que a energia é gerada pelo próprio equipamento independentemente do Sol. Exemplos: SAR ERS, JERS e RADARSAT.

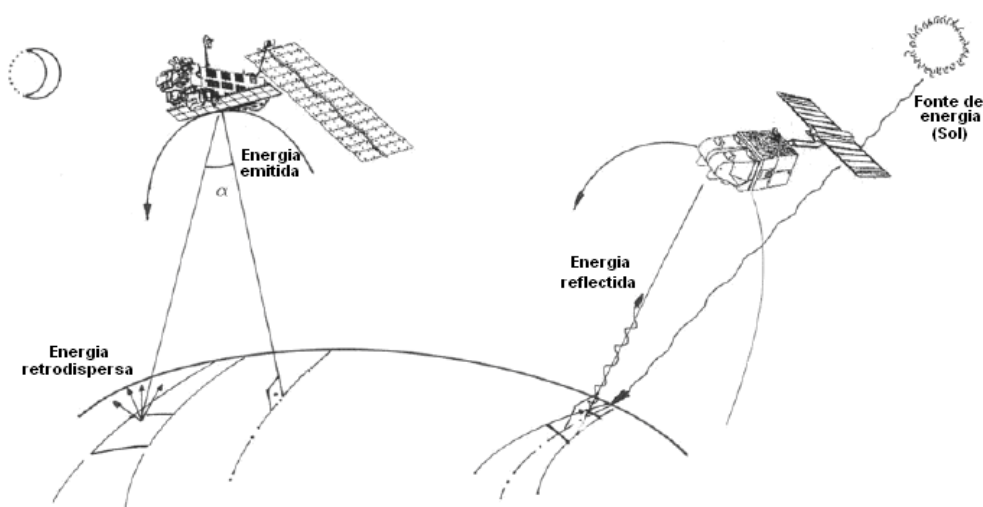



Figura 6.35 “Sensores passivos e ativos”

b) De acordo com as bandas usadas do **espectro eletromagnético**:

Óptica: Inclui a parte do espectro visível pelo olho humano (0.4 µm – 0.7 µm) e o infravermelho refletido ou infravermelho próximo. Exemplos: MSS LANDSAT, HRV SPOT, MMRS SAC-C.

Térmico: corresponde á parte térmica ou infravermelho emitido (7 µm – 15 µm). Exemplos: AVHRR NOAA, TM LANDSAT.

Microondas: Os comprimentos de onda mais longos (mm ao cm), usados principalmente pelos radares. Exemplos: SAR ERS, JERS e RADARSAT.

As **fontes** de radiação eletromagnética usada em detecção remota podem ser naturais tal como o sol, terra e atmosfera ou artificiais como lâmpadas, laser ou emissores de microondas.

A fonte principal de energia natural é o sol, cuja radiação atinge o seu máximo no comprimento de onda (λ) de 0.47 µm (verde visível). No seu caminho para a superfície terrestre, a energia solar passa através da atmosfera sofrendo complexas interações, que se podem resumir aos efeitos de absorção, reflexão, dispersão e emissão (Figura 6.36):

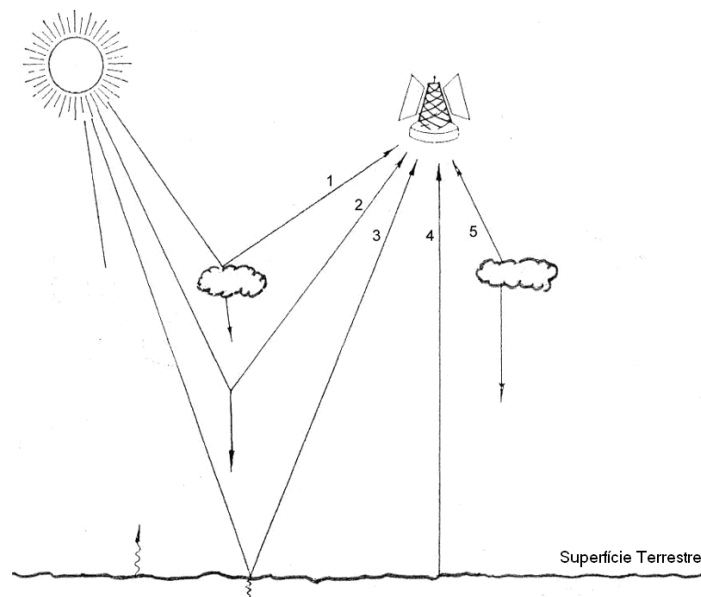



Figura 6.36 “Radiação recebida pelos sensores”

As diferentes componentes são:

1. Radiação refletida pela atmosfera;
2. Radiação dispersa pela atmosfera;
3. Radiação refletida pela superfície terrestre;
4. Radiação emitida pela superfície terrestre;
5. Radiação emitida pela atmosfera;

Apenas uma pequena parte da energia capturada pelos sensores é usada para extrair informação no que diz respeito a recursos terrestres. A parte restante deverá ser filtrada de forma a permitir que informação adicional seja extraída.

Existem zonas no espectro eletromagnético que possuem melhores condições radiativas, chamadas de "janelas atmosféricas" (fig. 6.37). Nestas zonas a absorção é menor, permitindo que a quantidade de energia transmitida seja maior. As janelas principais são:

0.4 – 0.7 µm no visível;

3.5 – 5.5 µm e 8 – 14 µm no infravermelho térmico.

O sensor capta e mede a energia eletromagnética irradiada da área de interesse, em estreitas faixas ou bandas do espectro. A medição da intensidade da energia transmitida a partir de um alvo em cada banda é chamada de resposta espectral ou assinatura espectral desse mesmo alvo.

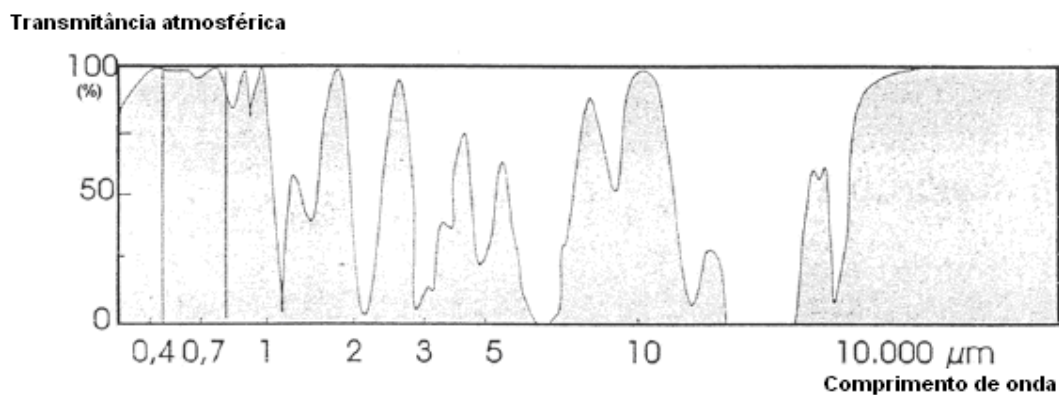



Figura 6.37 "Janelas atmosféricas"

3.2.2. Principais Sistemas de Detecção Remota

Os principais sistemas de detecção remota podem ser classificados da seguinte maneira:

SENSORES PASSIVOS:

- Sistemas fotográficos
- Sistemas *Vidicon*
- Digitalizadores optomecânicos
- Digitalizadores optoeletrónicos

SENSORES ACTIVOS:

- Sistemas radar

Sistemas fotográficos:

As câmaras fotográficas foram os primeiros sensores capazes de receber imagens multiespectrais do espaço. Continuam a ser um método frequentemente usado para detecção remota,

particularmente a partir de plataformas aéreas. A base da sua operação é a impressão de uma cena ou imagem em filmes foto sensíveis, através de um sistema óptico que permite controlar as condições de exposição solar.

As suas características mais importantes são:

a) **Tipo de filme**: O mais comum é o filme pancromático, no qual todo o espectro visível pode ser capturado numa simples emulsão. Radiação correspondente ao infravermelho próximo ou infravermelho refletido é capturado em tons de cinzento com um filme infravermelho.

b) **Número de objetivas**: Podem ser efetuadas múltiplas observações com duas construções diferentes incorporando várias lentes, cada uma com o seu filtro apropriado, ou numa câmara única o que permite a impressão da mesma imagem em diferentes bandas do espectro, ou juntando várias câmaras na mesma plataforma, cada uma com filtros diferentes e filmes apropriados (fig. 6.38).

c) **Ângulo de visão**: Em fotografia vertical (a mais utilizada), as imagens são capturadas aproximadamente num ângulo ortogonal á superfície terrestre (são permitidos 5º de desvio) e em fotografia obliqua utilizando um ângulo menor que 90º (usado para estudos de relevo, infra-estruturas urbanas, etc.).

d) **Altitude de observação**: A altitude (**H** – *height*) é altamente variável, dependendo se falamos de fotografia aérea ou espacial. A relação com a distância focal (**f**) determina a escala (**S**) do fotograma (§ 3.1.1).

$$S = f / H$$

Um exemplo de fotografia especial pode ser encontrado nas imagens pancromáticas e de infravermelho obtidas pelo vaivém espacial durante o programa "*European Spacelab* (1983)". Na verdade, foram obtidas com a câmara métrica RMK 20/30 algumas imagens estereoscópicas de várias regiões do globo, a uma escala de 1:820000 a 250 Km de altura com uma resolução de 20 a 30 m. Estas foram utilizadas principalmente para fins cartográficos (Konecny, 1986).

Mais recentemente, câmaras como a MKF-6 (fig. 6.38), a bordo do laboratório espacial *Soyuz*, permitiram a captura de imagens de elevada resolução em 6 bandas do espectro do visível e quase infra-vermelho (Chuvieco, 1995). Também a bordo deste laboratório, câmaras como a KFA 1000, com distância focal de 1m e a 351 Km de distância, obtiveram resoluções geométricas entre 5 a 10 m.

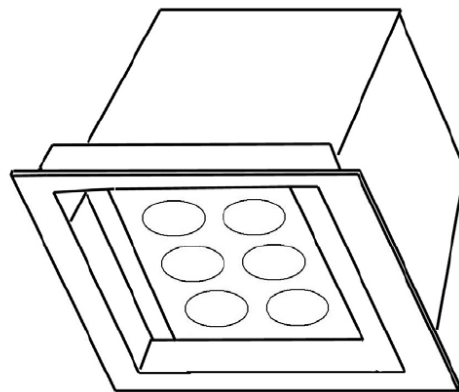



Figura 6.38 “Câmara multi-espectral MKF-6”

Sistemas *Vidicon*:

O sistema “*Return Beam Vidicon* (RBV)” era um sensor passivo semelhante a um tubo de uma televisão. Este sensor falhou logo nas primeiras missões ERTS (conhecido posteriormente por LANDSAT) e nunca entrou em uso. Duas câmaras RBV observaram toda a superfície de uma forma quase instantânea, usando filtros coloridos de modo a providenciar bandas espectrais centradas no azul-verde, amarelo-vermelho e vermelho-infra-vermelho, nos primeiros dois satélites LANDSAT.

Uma quarta câmara RBV no LANDSAT-3 era uma versão pancromática (0,505 – 0,750 µm que permitia a obtenção de 4 imagens adjacentes com uma resolução de 30 metros.

Este tipo de sistema tem sido utilizado nos satélites TIROS e LANDSAT, entre outros.

Digitalizadores optomecânicos:

Estes tipos de digitalizadores são instrumentos optomecânicos, onde um elemento óptico, geralmente um espelho rotativo ou oscilante, é usado para direcionar um feixe óptico para os detectores no ângulo apropriado. O eixo de rotação ou de oscilação dos espelhos é paralelo à linha de voo ou à sua órbita.

Como exemplos, o digitalizador da aeronave *Daedalus* usa um sistema rotativo e o satélite LANDSAT utiliza sistemas de oscilação no seu digitalizador multiespectral (MSS) (fig. 6.39).

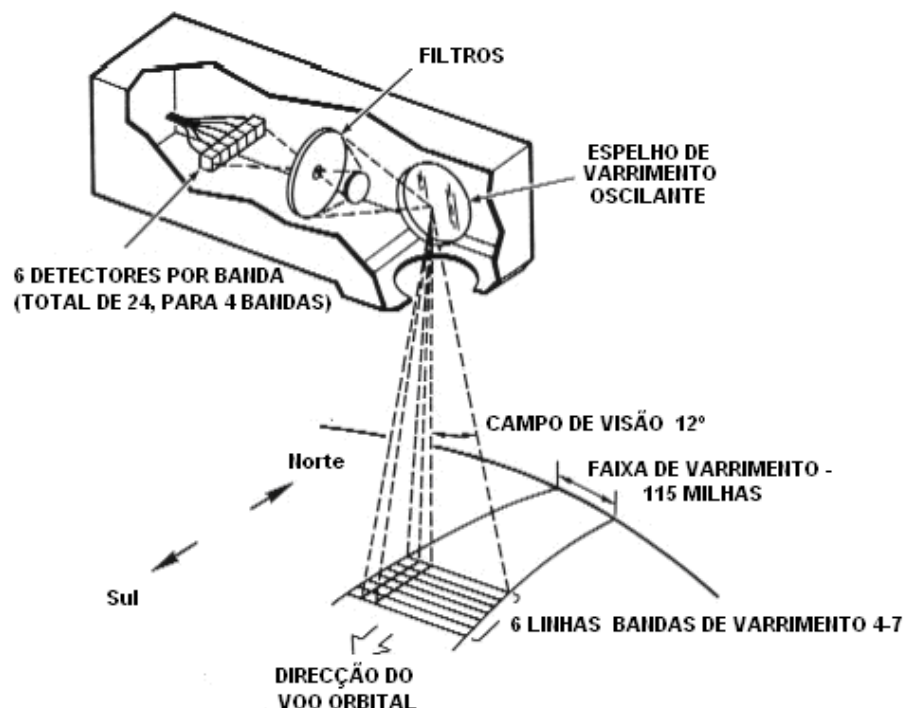



Figura 6.39 “LANDSAT MSS (NASA, 1997)”

O digitalizador multiespectral (MSS) a bordo do LANDSAT consiste num espelho móvel que oscila perpendicularmente á direção de voo. A radiação recebida é passada a uma série de

detectores que a amplificam e a convertem num sinal elétrico. Este sinal é convertido num valor numérico que pode ser armazenado a bordo ou transmitido para a rede de antenas receptoras existentes na superfície terrestre.

Em resumo, o sensor transforma um sinal analógico, a radiação recebida, num valor digital, gerando imagens digitais. Estes valores de radiação podem ser novamente traduzidos em níveis de radiação, sabendo os coeficientes de calibração do sensor e as condições de aquisição.

O número de atributos dos detectores, que contêm o equipamento de digitalização, é fundamental para perceber as características da imagem resultante.

O sinal enviado pelo sistema óptico para estes sensores, é reamostrado a intervalos regulares, sendo apenas gravado um valor numérico em determinado intervalo de tempo. Esse intervalo reflete-se no tamanho da unidade de informação mínima adquirida pelo sensor: o "*pixel*", (abreviatura de *picture element* ou elemento da imagem). O sinal detectado por cada pixel tem uma relação direta com o tipo de superfície observada. Se o sinal é originário de uma superfície homogénea, o valor do pixel irá defini-la corretamente; se for heterogénea, o resultado será uma média das características da área observada.

Em muitos sistemas, o sinal recebido é repartido, a bordo, em vários comprimentos de onda, cada dirigido a um tipo especial de sensor ou detector sensível a estes valores de energia. São conhecidos como digitalizadores multiespectrais, uma vez que eles são capazes de detectar a mesma área usando diferentes bandas do espectro. As vantagens deste tipo de digitalizadores, relativamente aos sensores fotográficos simples são (Chuvieco, 1995):

a) Permitem o alargamento de bandas espectrais detectáveis de comprimentos de onda mais longos que o visível. As emulsões são limitadas entre 0.4 a 0.9 µm, enquanto que os digitalizadores podem ir dos 0.4 aos 12.6 µm, incluindo o infravermelho médio e térmico;

b) Calibração e correção radiométrica mais simples;

c) Capacidade para sistematicamente cobrir extensas áreas devido á sua capacidade em transmitir informação em tempo real;

d) Gravação digital da informação, melhorando o seu armazenamento e permitindo processamento computorizado.

As desvantagens são a resolução limitada e a necessidade de sistemas específicos de processamento de imagem.

Exemplos destes sistemas são o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) a bordo dos satélites TIROS_NOAA e o *Multi-Spectral Scanner* (MSS) a bordo do LANDSAT.

Um sensor multiespectral mais sofisticado, o *Thematic Mapper* (TM), tem vindo a ser adicionado aos satélites LANDSAT-4 até ao LANDSAT-7. Apesar de semelhante ao multiespectral, este consiste em sete bandas com características bem distintas, adicionando capacidades batimétricas, geológicas e térmicas com resolução geométrica melhorada.

Digitalizadores Optoeletrónicos:

Nos sistemas optoeletrónicos, também conhecidos como "*pushbroom*", o espelho oscilante é eliminado, devido a uma série de detectores que cobrem todo o campo de visão do sensor. Estes detectores são animados pelo movimento orbital do satélite, permitindo a cada instante a observação de uma linha completa, que se move simultaneamente com a plataforma. Os

detectores sólidos que constituem um digitalizador optoeletrónico são apelidados de "*Charge Couple Devices*" (CCD) (fig. 6.40).

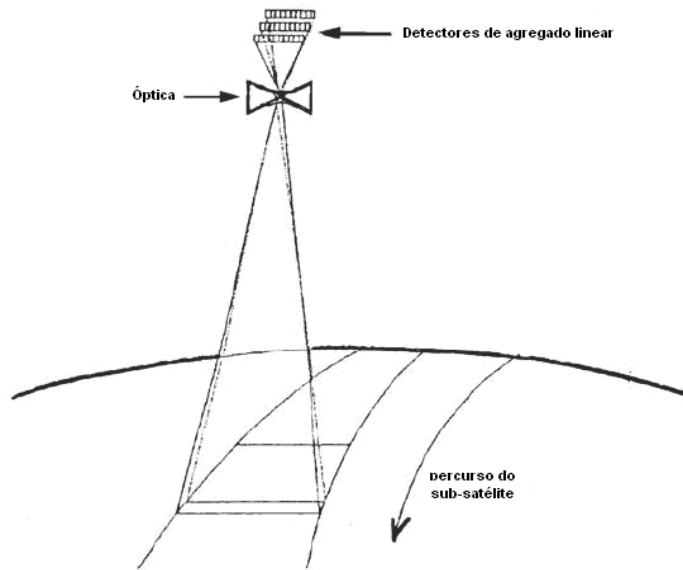



Figura 6.40 "Sistema CCD (Chuvieco, 1995)"

Com este tipo de sensor, a resolução espacial do sistema melhora quando comparada com os digitalizadores convencionais, uma vez que as partes móveis são eliminadas. Também deixa de ser necessária a interrogação pixel a pixel, mas sim linha a linha, tornando o sistema mais eficiente.

Exemplos deste tipo de sistema são o sensor *High Resolution Visible* (HRV) do satélite francês SPOT, o alemão MOMS e os sensores dos satélites indiano IRS-1 e japonês MESSR MOS-1.

Sistemas Radar:

O RADAR (***RA****dio* ***D****etection* ***A****nd* ***R****anging*) permite obter informação sobre a topografia, relevo, cobertura terrestre e umidade da área a ser observada usando um radiómetro ativo de microondas, que trabalha numa banda espectral entre 0,1 cm e 1 m. São cada vez mais usados devido á sua capacidade de operar em qualquer condição atmosférica e de luminosidade. Existem diferenças importantes entre a forma como uma imagem radar é formada e o que nela é representada quando comparada com imagens ópticas obtidas através de detecção remota. Para interpretar as imagens radar, é necessário perceber a configuração radar, a energia associada a detecção remota por radar, a forma como essa energia interage com as diferentes superfícies e como essa interação é representada na imagem (Davidson, 1997). O princípio de operação do radar baseia-se na emissão de um pulso (feixe) de microondas (rádio) dirigido a um alvo. A energia incidente é retroreflectida pelo alvo em direção ao radar, que mede a intensidade e o tempo entre a emissão e a recepção (distância) (fig. 6.41).

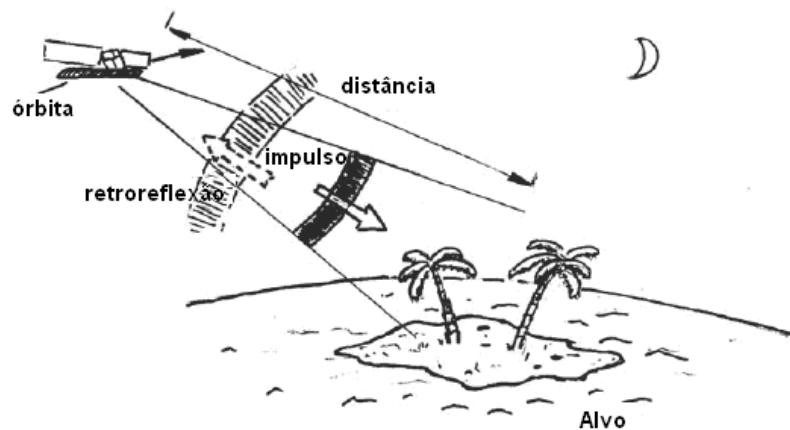



Figura 6.41 “Operação básica do RADAR”

O Radar de Abertura Sintética/*Synthetic Aperture Radar* (SAR) é o tipo de radar mais usado a bordo dos satélites. O seu princípio de funcionamento é baseado no efeito *Doppler*, que afeta as observações efetuadas quando existe movimento relativo entre o objeto (alvo) e o sensor, e é observado nos impulsos emitidos pela superfície terrestre devido ás diferentes posições relativas do satélite ao longo da sua órbita. A resolução resultante é equivalente aquela que seria obtida com uma antena de comprimento semelhante á distância entre os pontos extremos de um alvo de onde a energia é retrofletida (fig. 6.42).

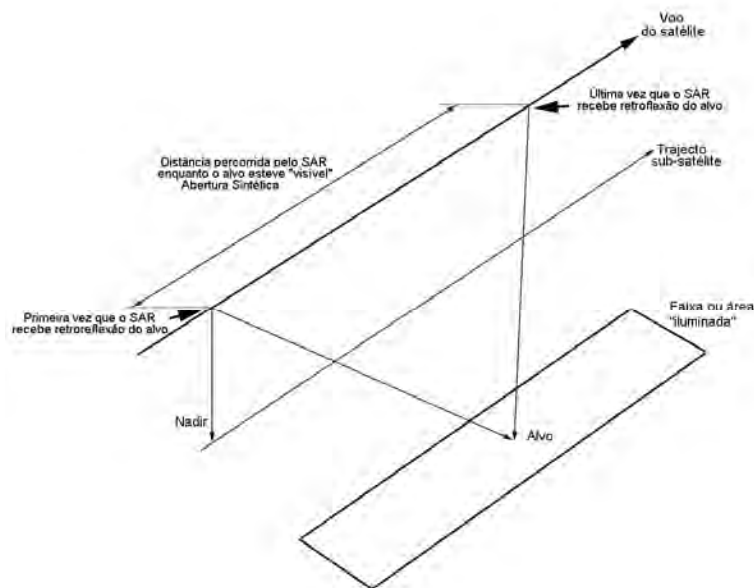



Figura 6.42 “Conceito do RADAR de abertura sintética”

Existem sensores SAR a bordo dos satélites ERS e ENVISAT (Europeus), RADARSAT (Canadiano) e JERS (Japonês).

3.2.3. Estrutura e Suporte de Imagem

Uma imagem é gerada a partir da energia capturada pelo sensor, que a converte num sinal analógico, sendo posteriormente processada e armazenada como um valor numérico. O intervalo

de armazenamento do sinal determina a unidade de informação da imagem. Este segmento mínimo de informação, representado por um único valor digital, é designado como “pixel” (*Picture Element*), e, tal como mencionado anteriormente, depende da resolução geométrica do sensor. O pixel é caracterizado por um número digital/*Digital Number* (DN) resultante da codificação digital da radiação detectada nessa banda.

A imagem numérica é uma matriz de duas dimensões. Em cada pixel **Pij** (ponto elementar da matriz) existem três valores associados:

a) A coordenada de linha **Li**;

b) A coordenada de coluna **Cj**;

c) A medição física feita pelo receptor nesse pixel num determinado comprimento de onda **DNij**.

Uma imagem multiespectral é constituída por **k** matrizes, chamadas de canais ou bandas. Neste caso, a imagem surge como uma matriz tridimensional, incorporando a banda como uma terceira dimensão. Por exemplo, uma imagem multiespectral do MSS LANDSAT possui 4 canais MSS_k, onde k=1, 2, 3, 4. (fig. 6.43). As intensidades radiométricas de um canal são convertidos em valores numéricos entre 0 e 255, permitindo até 256 valores possíveis. Estes valores são codificados em bytes ou 8 bits.

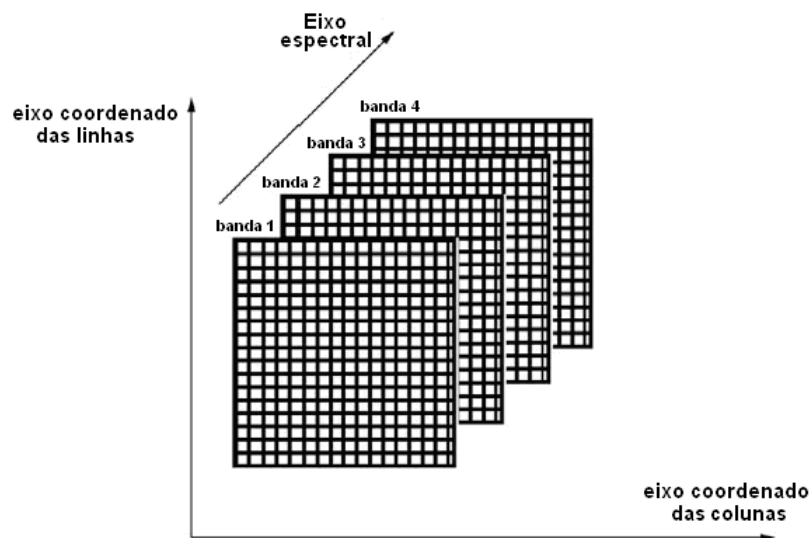



Figura 6.43 “Estrutura do agregado da imagem multiespectral”

O princípio fundamental da visualização de imagens digitais consiste na associação da cor ou dum tom de cinzento a cada valor radiométrico, conservando ao mesmo tempo a representação matricial da imagem. Existem duas visualizações possíveis: a visualização de um canal simples ou a associação de vários canais de modo a obter uma imagem de “falsa” cor. No primeiro caso, a correspondência entre a intensidade (DN) e o tom de cinzento é definido, para que o valor mínimo de intensidade (0) seja atribuído ao preto e o máximo (255) ao branco, atribuindo os valores intermédios aos diferentes tons de cinzento. O histograma de uma imagem numérica é uma representação gráfica da frequência com que cada valor de intensidade radiométrica surge, expressando assim a distribuição dos pixéis como uma função da sua intensidade radiométrica. O histograma permite conhecer a distribuição dos pixéis na imagem entre os valores de 0 e 255.

De forma a melhorar uma imagem digital, é possível modificar a correlação entre os valores numéricos e os tons de cinzento ou de cores. O objetivo é aumentar o contraste geral da imagem. Isto é feito substituindo os valores originais, entre os níveis mínimo e máximo, por valores novos distribuídos por 255 níveis, de forma a usar todos os níveis de cinzento possíveis na visualização. Isto pode ser obtido aplicando uma função linear, adaptando a imagem de acordo com a curva do histograma acumulado ou por outro método viável de distribuição tais como usando exponenciais ou segmentos lineares.

Para visualização a cores, o princípio é semelhante ao preto e branco. As únicas diferenças são as cores associadas a cada valor numérico de cada canal e não a intensidade de cinzento, logo deverá haver uma palete apropriada de cores definidas. Existem convenções para as combinações de cores para os canais. Por exemplo, as imagens normalizadas do MSS LANDSAT usam o azul para a banda do verde (centrado nos 0.55 µm), verde à banda do vermelho visível (0.65 µm) e vermelho à banda do infravermelho próximo (0.75 µm).

Existem alternativas para o **formato de gravação de imagens**. Geralmente, as imagens contêm um ficheiro cabeçalho, que indica o formato de gravação, o tipo de sensor, localização geográfica da área, data, posição solar, valores de correção e de calibração da imagem. Os formatos mais frequentes são:

BSQ (Banda Sequencial/*Band Sequential*) O DN segue uma ordem sequencial, partindo da origem (linha 1, coluna 1) até ao último pixel da primeira banda, seguindo-se depois as bandas seguintes.

BIL (Banda Intercalada por Linhas/*Band Interleaved by Line*): O DN é ordenado por linhas. Começa-se pela linha da banda 1, depois segue-se a primeira linha da segunda banda e assim sucessivamente. Depois de todas as bandas estarem completas, passa então para a segunda linha da primeira banda, segunda linha da segunda banda, etc…

BIP (Banda Intercalada por Pixel/*Band Interleaved by Pixel*): O formato é semelhante ao anterior, exceto que neste caso o DN é ordenado por pixel. O primeiro pixel é gravado na origem de cada banda, depois o segundo pixel e assim sucessivamente.

O **suporte de imagens disponível**, que requer o negativo ou o positivo do filme ou da página fotográfica, varia de acordo com o programa espacial. O negativo é o produto mais versátil, uma vez que permite a produção de todas as ampliações consideradas necessárias na escala desejada. O positivo é muito útil para reproduções fotográficas e para impressões da imagem. O papel é o suporte analógico mais comum, uma vez que garante a interpretação direta de imagens de alta qualidade. No entanto, a escala em que é representado é rígida. A imagem nos filmes negativos do LANDSAT TM (23 x 23 cm) possuem uma escala de 1:500000, enquanto que outros programas oferecem escalas de 1:1000000, amplificações adicionais pode ser obtidas em papel em escalas de 1:250000 ou 1:100000.

Atualmente, os suportes digitais tais como discos compactos (CD) ou memórias sólidas são os mais comuns.

3.2.4. Fundamentos de Interpretação e Processamento

A interpretação de uma imagem resume-se a técnicas necessárias para definir, reconhecer e identificar objetos ou fenómenos numa imagem e interpretar o seu significado. De forma a levar a cabo estas tarefas, deverá ser reservado parte do trabalho de preparação para definir os parâmetros e métodos a usar.

A escala é um dos primeiros parâmetros a definir, e está relacionado com os objetivos mencionados anteriormente. A escala define a unidade mínima de informação que deverá ser incluída no mapa, denominado a "Unidade Mínima Cartográfica/*Minimum Cartographic Unit* –

(MCU)". É recomendável que a MCU não seja menor que 4 mm^2 na escala do mapa. No entanto, a definição de escala deverá estar diretamente relacionada com o tipo de sensor usado. De acordo com as orientações da Associação Cartográfica Internacional, as escalas mais adequadas para os diferentes sensores são:

LANDSAT – MSS	**1:200 000**
LANDSAT – TM	**1:100 000**
SPOT – HRV	**1:50 000**

Na interpretação de imagens, deverá ser tido em consideração o seguinte:

- **Sistema Sensor - plataforma**: O tipo de sensor mais apropriado depende do objetivo e do nível de exatidão requeridos para o projeto, i.e. mapas globais (planisférios) serão levados a cabo com sensores de baixa resolução espacial (NOAA AVHRR ou SAC-C MMRS) enquanto que aqueles que necessitam de uma escala maior usarão sensores que oferecem maior detalhe espacial (LANDSAT TM ou SPOT HRV). No entanto, noutros casos, a resolução espacial é secundária quando comparada com a resolução temporal ou espectral. Se o fenómeno a estudar é muito dinâmico, tal como por exemplo os derrames de crude no mar, será mais adequado o uso de sensores de resolução temporal mais elevada, apesar de sacrificar a exatidão espacial. Noutros projetos, tais como nos estudos da cor do oceano através de sensores ópticos, a resolução espectral será mais importante.

- **Captura de Imagem**: O momento mais adequado para a aquisição de imagens será quando o fenómeno a estudar possuir ou atingir a sua discriminação máxima, evidenciando-se de outros com comportamento espectral semelhante, i.e. áreas ribeirinhas com grandes amplitudes de maré ou praias extensas deverão ser observadas durante a baixa-mar de modo a otimizar a detecção de detalhes costeiros, daí que o planeamento deverá ter em consideração as previsões de maré locais.

- **Suporte de imagem**: A seleção do tipo de meio, no qual a interpretação da imagem será efetuada, depende das técnicas a aplicar. Se se considerar uma análise visual, três aspectos principais deverão ser contemplados: o material de suporte da imagem, a escala e o número da banda ou das bandas selecionadas. Papel ou filme fotográfico é o ideal para interpretação analógica (visual), enquanto que suportes digitais tais como CD-ROM's ou DVD's são mais apropriados para processamento digital. Adicionalmente, o número ideal de bandas para um projeto depende do fenómeno a ser mapeado ou monitorizado.

- **Seleção do método de análise**: os métodos de análise podem ser visuais ou digitais. Cada um possui as suas vantagens e desvantagens. A interpretação visual requer menos meios que a interpretação digital. No entanto, o processamento digital apresenta custos unitários menores em áreas grandes, enquanto a interpretação visual segue custos lineares.

Resumidamente, em trabalhos complexos os resultados de ambos os métodos são aceitáveis, apesar de os métodos digitais estarem a ganhar importância devido às vantagens do processamento de imagem através de computadores e *software*.

A **interpretação visual de imagens** obtidas por detecção remota é baseada em capacidades utilizadas na interpretação clássica de fotos aéreas. A interpretação de imagens VIR e SAR são similares sendo ambas interpretadas da mesma forma. Quando são empregadas imagens SAR, as propriedades únicas das imagens radar deverão ser relembradas e incorporadas no processo de interpretação.

Os elementos mais usados na interpretação visual são:

- **Escala**: É a relação entre as dimensões lineares na imagem e no terreno.

  S = Imagem / Terreno

  Geralmente, a escala (**S**) é expressa como uma divisão, com um numerador igual a "**1**" e um denominador "**D**".

  S = 1 / D

- **Forma e tamanho**: Forma e tamanho estão diretamente relacionados com a escala. A forma refere-se à forma espacial de um objeto ou à área, podendo ajudar a distinguir características naturais e antropogénica.

  A dimensão de uma determinada característica pode ser útil na sua distinção entre outras, em termos relativos. A escala é um fator que, influência o tamanho de um objeto ou característica presente na imagem. Forma, tamanho e escala são fundamentais na definição de padrões.

- **Tom**: O tom refere-se à intensidade da energia recebida pelo sensor numa determinada banda do espectro. Num produto fotográfico, pixéis com tons mais escuros indicam áreas onde o sensor detectou um sinal baixo (fraco), enquanto que as áreas claras são as de valores de radiação mais elevados.

  Nas imagens radar, os tons resultam da diferente refletividade dos alvos, as variações de tom são geralmente uma função da intensidade da retroreflectividade do terreno, i.e. superfícies mais macias aparecem mais escuras porque funcionam como um refletor "especular" com a energia sendo refletida para longe do sensor.

- **Cor**: Em imagens VIR, a cor é uma consequência da refletividade seletiva do objeto, para diferentes comprimentos de onda. Essas superfícies com uma refletividade elevada nos comprimentos de onda visíveis mais curtos e baixa nos restantes aparecem a azul, enquanto que os que absorvem os comprimentos mais curtos e refletem os longos aparecem a vermelho. Se o sensor capturar informação nas bandas do azul, verde e vermelho, pode ser obtida uma composição na cor natural.

  As imagens SAR possuem apenas informação numa única banda espectral, sendo visíveis em tons de cinzento.

- **Textura**: Textura é a frequência de alteração do tom ou da cor. Refere-se á rugosidade aparente ou suavidade da região da imagem, representando o contraste espacial entre os elementos que a compõem.

  A textura da imagem vem da relação entre o tamanho dos objetos e a resolução do sensor. Geralmente, a textura é classificada como grosseira, média e fina. Em imagens SAR, pode ser classificada como suave, fina, áspera, linear ou com pequenas inclusões de outras características.

  O contraste é a relação entre áreas claras e escuras ou a relação do tom entre um objeto e os que o rodeiam.

- **Sombra**: Geralmente, a sombra relaciona a dimensões do objeto (principalmente a sua altura) com o ângulo de incidência da energia (Sol ou feixes). Em imagens SAR, as sombras indicam o tipo de relevo. O comprimento da sombra pode ser usado para estimar

a altura, enquanto que a sua projeção indica a sua forma espacial. Finalmente, a interpretação visual pode ser levada a cabo avaliando todos os parâmetros mencionados anteriormente e comparando as características dos objetos identificados com padrões bem conhecidos (i.e. cobertura terrestre, rede de drenagem e infra-estruturas urbanas, etc.).

O processo de identificação ou de tentativa de identificação de objetos através de contextualização local ou regional chama-se associação. Por exemplo, paisagens terrestres e características do Oceano Antártico tendem a formar associações através de relações naturais e processos bem conhecidos (i.e. camadas finas de gelo, fraturas e formas glaciares).

- **Padrão**: O padrão representa a ordem com que uma determinada característica se arranja ou repete espacialmente. Espaçamento, densidade e orientação são indicativos do padrão; por exemplo a rede fluvial está relacionada com o relevo, o padrão detrítico é representativo de uma área ondulada (montes, montanhas), enquanto que padrões entrelaçados representam áreas planas.

3.2.5. Pré-processamento de imagens e informação complementar

As imagens satélite, obtidas por terceiros, devem ser processadas pela instituição que as adquiriu de forma a padronizar os produtos disponíveis. Um tratamento base é efetuado, a pedido do cliente, mas podem ser aplicados adicionalmente outros tratamentos opcionais melhorando a geometria e a radiometria do produto, adaptando-o melhor aos objetivos da sua futura aplicação.

O tipo de processo e a sua denominação são característicos de cada sistema. Geralmente, está organizado numa cadeia hierárquica progressiva de correções, dado que cada nível inclui os anteriores enquanto vai adicionando outro. Por exemplo, existem diferentes níveis de tratamento para os produtos HRV SPOT (fig. 6.44):

Nível 1A: Nível básico para todas as imagens, onde foi realizada uma calibração de sensores em cada banda espectral. Não há correção geométrica. Estas imagens são usadas em estudos radiométricos de elevada sensibilidade.

Nível 1B: São corrigidas deformações sistemáticas causadas pela rotação terrestre, efeitos panorâmicos, efeito de deriva e ângulos de incidência. Existem correções para a origem geométrica, mas que podem influenciar a radiometria, uma vez que é executada a reamostragem.

Nível 2: São executadas correções geométricas e de localização recorrendo a informação interna e externa. A informação interna emprega: informação da órbita corrigida, geometria do campo instantâneo de observação (IFOV) e altitude corrigida do satélite. A informação externa é: parâmetros do sistema de representação, altitude média retificada e as coordenadas dos pontos de controlo no terreno (GCP).

Existem dois sub-níveis, em função do uso ou não dos GCP:

Nível 2A: São executadas correções bidimensionais de modo a transferir a imagem para uma determinada projeção cartográfica (Mercator, Mercator Transversa, Lambert, etc. – ver capítulo 2). É usada informação sobre altitude do satélite e geometria do IFOV, sem recurso aos GCP.

Nível 2B: A correção geométrica recorre aos GCP, obtendo uma maior precisão quando comparada com o nível 2A.

Nível 3: São consideradas as deformações geométricas produzidas pelo relevo. Requer informação dos Modelos Digitais de Terreno. A exatidão da posição é da ordem dos 0.5 pixéis. Como resultado é obtido um ortomorfismo.

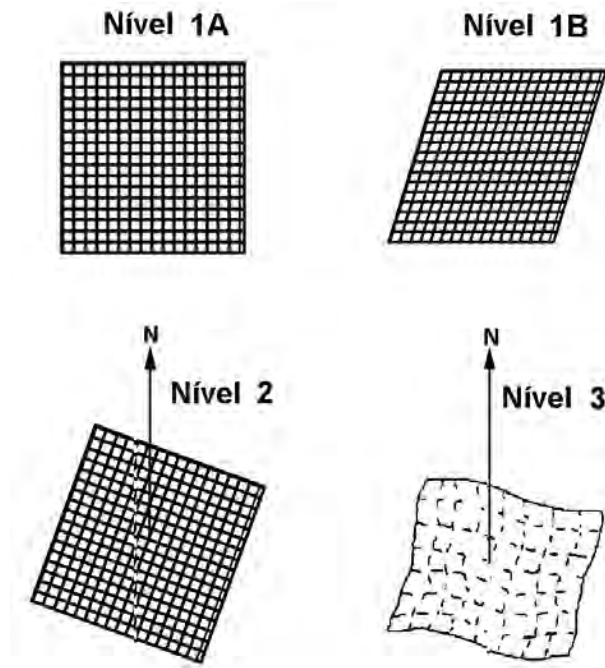



Figura 6.44 "níveis de processamento da imagem SPOT (adaptado de GDTA, 1993)"

Informação complementar

O processamento das imagens requer o uso de informação complementar para as correções geométricas e preparação do produto cartográfico final. A georreferenciação pode ser efetuada sem os GCP, mas o posicionamento é apenas relativo. o recurso aos GPC será obrigatório caso seja necessário "ligar" o produto a um sistema de posicionamento.

Os GCP são pontos cujas coordenadas são previamente conhecidas e claramente identificados na imagem. São usados para definir as equações de transformação de coordenadas a partir da imagem para os sistemas geodésicos de referência e projeções cartográficas. Podem ser obtidos a partir de documentos cartográficos (cartas) ou trabalhos topográficos feitos no terreno. Em certos casos, podem ser instalados *transponders* (equipamentos que emitem um sinal rádio) cujos sinais podem ser facilmente identificados nas imagens, possibilitando assim a georreferenciação em áreas com poucas referências naturais e/ou artificiais.

Pode ser usada informação cartográfica adicional (tipo de costa, obstáculos á navegação, detalhes costeiros e urbanos, infra-estruturas portuárias e rodoviárias) na interpretação da imagem ou para melhorar o produto final. Esta informação pode ser obtida a partir da digitalização de cartas, bases de dados georreferenciadas (GIS) ou levantamentos complementares.

3.2.6. Processamento de Imagem

As imagens satélite apresentam distorções geométricas e radiométricas, dependentes do tipo de sensor, da plataforma e das condições de captura. Em aplicações hidrográficas, é usada frequentemente informação oriunda de múltiplas fontes. Por isso, de forma a padronizar, poder comparar e integrar com outra informação, deverá ser normal o procedimento de retificação e de restauração das imagens.

A completa correção de uma imagem envolve o processamento inicial da imagem bruta de forma a eliminar as distorções geométricas, a calibração radiométrica e a redução do ruído. Quando são usadas imagens de diversas fontes, (i.e. LANDSAT TM, SPOT PAN, etc.), os processos de correção geométrica, retificação, calibração radiométrica e melhoramento são requisitos prioritários para a fusão das imagens e assegurar a compatibilidade, pixel a pixel. O

melhoramento radiométrico é tão importante como a integridade geométrica em todos os aspectos de mapeamento com imagens, uma vez que a qualidade do resultado da imagem final depende da precisão da correção geométrica de cada imagem (Pohl, 1996). A este detalhe deverá ser dada particular consideração uma vez que é bastante frequente o emprego de imagens em mosaico para completar diferentes sectores das cartas.

Tratamentos Geométricos

As distorções geométricas podem ser classificadas como sistemáticas (previsíveis e corrigíveis) e acidentais (aleatórias). Os erros sistemáticos são recuperados mais facilmente aplicando formulário derivado da modelação das fontes de distorção. Os erros acidentais são corrigidos aplicando polinómios com GCP convenientemente distribuídos na imagem.

As correções geométricas podem ser agrupadas nos seguintes processos:

Co-registo: é o ajuste de uma imagem tendo como referência uma outra, usando uma transformação polinomial entre os pontos comuns a ambas. É usado quando se comparam dois conjuntos de dados, sem utilizar a projeção cartográfica (posicionamento absoluto).

Georreferenciação: consiste na atribuição de coordenadas aos pixéis da imagem através da definição das equações de transformação.

Geocodificação: envolve a passagem da imagem para o mapa, através da aplicação das equações de transformação. A imagem começa como uma carta, onde cada pixel tem o seu par de coordenadas geográficas. A geocodificação é primordial na integração de imagens de diferentes fontes, permitindo a obtenção da compatibilidade integral de toda a informação em cada pixel.

Ajuste Polinomial

A retificação polinomial é um método relativamente simples de correções geométricas das imagens. Consiste na transformação das imagens originais com base num grupo de pontos apropriadamente distribuídos cujas coordenas são conhecidas. É necessário que esses pontos tenham coordenadas nos dois sistemas: Originais (**x** e **y**) e finais (**X** e **Y**).

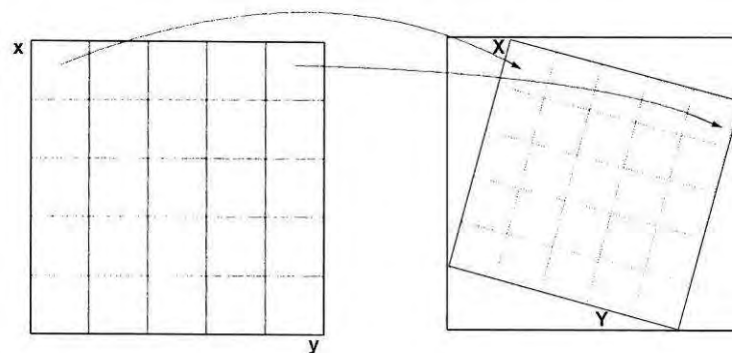



Figura 6.45

O número de pontos bem conhecidos reflete a ordem do polinómio a usar. Com o aumento da ordem, aumenta o número de pontos conhecidos necessários. É produzido um sistema de equações cujos coeficientes são obtidos através do método de mínimos quadrados.

Um polinómio de primeira ordem (linear) requer 6 pontos cujas coordenadas são bem conhecidas. Corrige a translação, rotação, escala, inclinação, distorção de perspectiva e oblíqua na imagem (fig. 6.46).

$$X = a_0 + a_1 x + a_2 y$$

$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 y$$

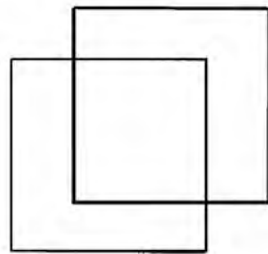
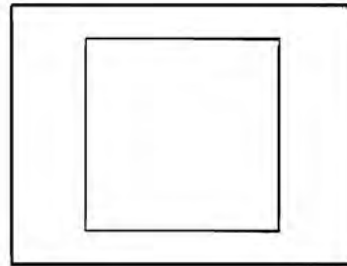
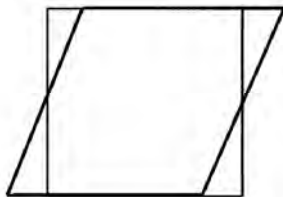
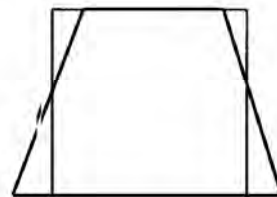
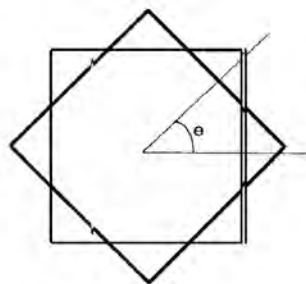



Figura 6.46

Um polinómio de segunda ordem requer 12 pontos bem conhecidos. Adiciona a torção e os parâmetros de convexidade.

$$X = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2$$

$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2$$

A imagem original pode ser transformada aplicando estas equações resultando numa imagem ajustada.

A aproximação polinomial apenas corrige a imagem localmente, uma vez que depende da distribuição dos pontos e da sua exatidão. Geralmente assegura uma imagem correta numa superfície plana, mas não é muito útil em áreas muito acidentadas.

A eficiência dos ajustes vem da avaliação dos desvios. O indicador mais usado é o erro médio quadrático (RMS). A atribuição do número digital (DN) apropriado à nova posição (X e Y) do pixel pode ser feita seguindo diferentes algoritmos: vizinhança mais próxima, interpolação bilinear e convolução cúbica.

A "vizinhança mais próxima" atribui a cada pixel a imagem transformada do DN do pixel mais próximo da imagem original. É a solução mais rápida, mas algumas características lineares (estradas, margens de rios, etc.) podem aparecer como linhas fraturadas na imagem transformada.

A interpolação bilinear calcula a média ponderada dos quatro pixéis mais próximos. Aqui, a distorção das características lineares é pequena mas o contraste espacial é reduzido.

A convolução cúbica considera o DN dos 16 pixéis mais próximos. Produz uma melhor transformação da imagem mas requer uma capacidade de cálculo bastante considerável.

Em resumo, a escolha do método depende do uso final e do objetivo do projeto, das capacidades de processamento disponíveis (*hardware*, *software*) e dos GCP disponíveis. O processamento também depende da origem das imagens. O processamento de uma imagem VIR é diferente do processamento de uma imagem SAR.

Efeitos geométricos nas imagens VIR

Geralmente, as imagens ópticas são mais distorcidas pelos processos de obtenção de imagem do que pelas características físicas da cena. Para alguns sensores, tais como os do TM LANDSAT, a forma e o movimento de rotação terrestre são fatores importantes a considerar durante a correção de imagens.

Para a geocodificação, tal como descrito no § 3.3.4, as coordenadas de pontos bem conhecidos são uma necessidade e, geralmente, um ajuste por meio de polinómios é benéfico.

Efeitos Geométricos em imagens SAR

O SAR é um sistema muito sensível aos aspectos geométricos e físico-químicos do alvo. O SAR emite um feixe de energia que atinge a superfície do alvo lateralmente, criando uma geometria particular com as imagens (fig. 6.47) o que pode ser resumido nos termos seguintes:

- Altitude: Distância entre o satélite e o seu ponto projetado na superfície terrestre;
- Nadir: Intersecção da vertical do satélite com a superfície terrestre;
- Azimute: Direção, relativamente ao Norte, da trajetória do ponto nadir do satélite ao longo da superfície terrestre;
- Vetores de alcance: Vetores que ligam o SAR ao terreno, correspondendo a cada medição de distância obtida num único impulso transmitido;
- Alcance oblíquo: A distância do sensor ao alvo medida obliquamente;

- Direção do alcance: Direção perpendicular ao azimute;
- Alcance no terreno: O alcance oblíquo projetado na superfície terrestre;
- Ângulo incidente: O ângulo entre o vetor de alcance do radar e a vertical do lugar;
- Ângulo incidente local: Ângulo entre o vetor de alcance do radar e a normal á superfície de cada elemento do terreno.

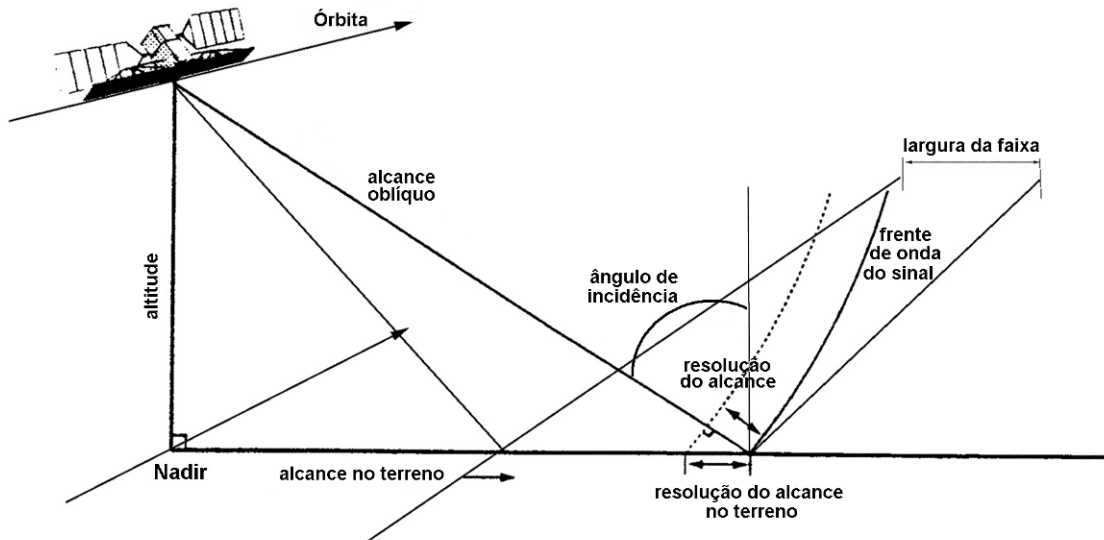



Figura 6.47 “Geometria das imagens SAR (adaptado de Raney, 1992)”

O parâmetro principal é o ângulo incidente local (Fig. 6.48). Pode ser observado que a geometria da interação sinal/alvo é uma função da inclinação do terreno causando várias distorções que se diferenciam de uma projeção ortogonal.

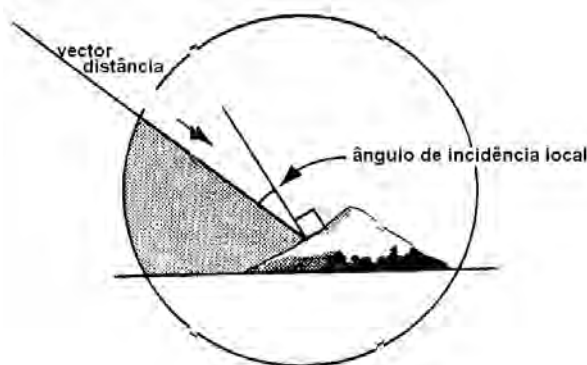



Figura 6.48 “Ângulo de incidência local (adaptado de Raney, 1992)”

As distorções principais são conhecidas como efeitos de “encurtamento/*foreshortening*”, “sobreposição/*layover*” e “sombra/*shadow*” (fig. 6.49). O efeito de encurtamento ocorre quando o ângulo incidente local é menor que o ângulo de incidência mas maior que zero. Esta distorção produz um efeito que faz com que a inclinação observada apareça como que encurtada e inclinada na direção do sensor. No caso de ângulos de incidência menores ou relevo muito acentuado, o

sinal do radar é refletido pelo pico da montanha antes de ser refletido pela base, produzindo um efeito de sobreposição. Nestes casos, o ângulo de incidência local é maior do que o de incidência.

A sombra ocorre nos declives que não são iluminados pelo sinal do radar. Estas áreas aparecem muito escuras (sem informação) nas imagens.

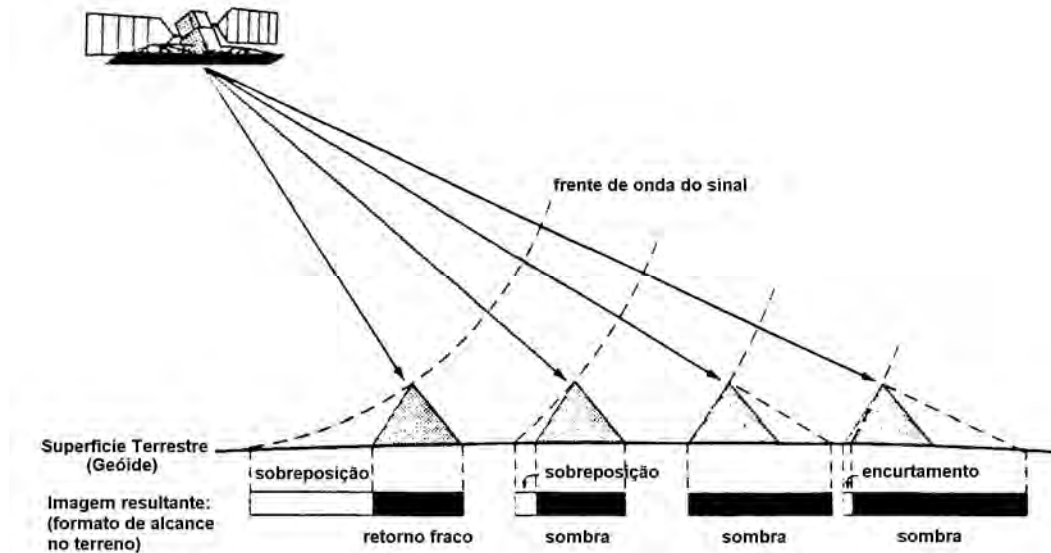



Figura 6.49 "Distorções devido ao relevo (adaptado de Lillesand e Kiefer, 1987)"

Tratamentos radiométricos

Estas técnicas são úteis para melhorar a radiometria, de modo a que as características de interesse apareçam claramente e sejam mais fáceis de interpretar. São métodos adicionais àqueles previamente mencionados e ajudam à interpretação topográfica. Um método comum envolve a manipulação de dados estatísticos da imagem, representados por um histograma, que detalha a frequência espectral para cada banda da imagem.

De forma a melhorar a interpretação da imagem, é modificada a associação entre os valores numéricos e o alcance do cinzento ou da cor com a intenção de aumentar o contraste global da imagem. Isto é equivalente a alterar os valores digitais para o mínimo (MIN) e para o máximo (MAX) com novos valores distribuídos por todos os 255 níveis possíveis de cinzento. A distribuição pode ser executada de várias formas, sendo a mais frequente a linear, que redistribui linearmente de 0 a 255 os valores entre o MIN e o MAX (fig. 6.50).

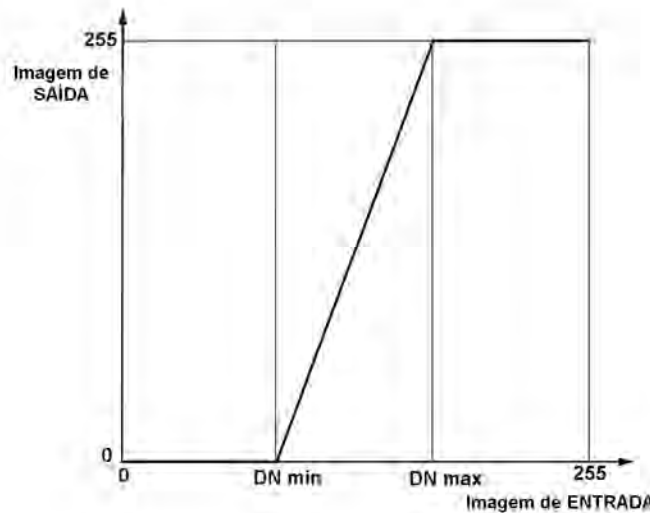



Figura 6.50

Outra forma de auxiliar a interpretação de imagens é aplicando filtros espaciais. Os filtros espaciais são usados para selecionar ou mascarar um conjunto de valores, dentro da escala dos valores digitais.

Estes filtros suprimem certas frequências, dependendo do tipo de filtro usado. O filtro passa-baixo reduz o número de DN's numa área, reduzindo detalhes e suavizando o aspecto geral da imagem. O filtro passa-alto melhora o gradiente do DN, i.e. os limites que são usados para melhor detectar as estradas, rios, etc. O filtro ideal é um que suavize homogeneamente a área e ao mesmo tempo preserve os limites e a textura. Deverá manter a média aritmética e diminuir o desvio padrão.

Em imagens SAR, são exemplos de filtros passa-alto os filtros adaptativos que são usados para minimizar o efeito granulado "*speckle*". Recentemente, tem havido desenvolvimento de diferentes algoritmos: Lee, Kuan, Frost e Gamma MAP.

Em resumo, os filtros, usados com cuidado e cautela, são importantes para melhorar a observação das características e podem contribuir para a interpretação topográfica.

Distorções radiométricas em imagens VIR

As fontes de distorção radiométrica são a atmosfera (devido à dispersão e aos efeitos de absorção), o sensor e a iluminação solar. Estes efeitos são descritos em detalhe por Lillesand e Kiefer (1994) e Richards (1986).

Entre os diferentes componentes da atmosfera, o efeito do vapor de água na forma de nevoeiro pode ser reduzido aplicando uma modificação no histograma. Um problema frequente é a presença de nuvens que reduzem a informação detectável em imagens ópticas. Áreas cobertas por nuvens apresentam DN's centrados em valores muito altos (branco, quase 255) com os limites muito difusos e cinzentos. As suas sombras são também detectáveis com DN's muito baixos.

Normalmente, as distorções radiométricas criadas pelo sensor são pequenas quando comparadas com as influências atmosféricas. As distorções mais importantes são as geradas pelos próprios detectores, que se manifestam na forma de faixas. É um efeito recorrente que pode ser removido depois da interpretação ou processamento da imagem (Crippen, 1989).

A correção para diferentes iluminações solares requer um quociente entre bandas. Esta correção não é normalmente aplicada uma vez que a iluminação solar produz um efeito que facilita a interpretação visual para atualização cartográfica.

Distorções radiométricas em imagens SAR

As imagens SAR têm características próprias que requerem um tratamento e calibração específicos. Estas características estão relacionadas com o efeito granulado "*speckle*", o processo baseado em múltiplas observações, o número de DN e correções radiométricas específicas.

O "***speckle***" é um fenómeno que ocorre em imagens radar. Resulta da interferência de vários refletores individuais no feixe. A energia retrodifundida representada num pixel é formada a partir das contribuições de um número maior de refletores individuais, tais como árvores ou folhas da vegetação.

As interferências das ondas rádio que retornam ao SAR produzem variações no nível de cinzento dos pixéis vizinhos, criando uma aparência granulada na imagem. O fenómeno "*speckle*" ocorre em sistemas ativos que usem ondas coerentes e limita a resolução das imagens SAR (Hoeckman, 1990, Schumann, 1994).

Uma vez que é um efeito aleatório, não pode ser eliminado na sua totalidade. O impacto pode ser diminuído usando vários procedimentos que reduzem a resolução espacial.

O processo que se baseia em observações múltiplas (**processamento multi-observação/ *multi-look processing***) é um tipo de processamento de sinal radar empregue na redução do efeito "*speckle*". Pode ser obtido processando o sinal de modo a obter imagens resultantes de observações independentes com baixa resolução, identificá-las e depois suavizar a potência da imagem (brilho) de forma a criar uma imagem multi-observação ou processando a informação para resolução máxima e suavizar espacialmente a imagem desenvolvida. O ratio sinal / ruído contido na imagem é preservado no processamento multi-observação. O processamento multi-observação requer *hardware* e *software* especiais, sendo por isso realizado nas estações receptoras.

A faixa de valores do DN de um pixel depende do alcance dinâmico da assinatura radar e da codificação digital usada para criar a imagem. Geralmente a informação SAR é distribuída com pixéis de 32 ou 16 bits. No entanto, muitos pacotes de *software* só conseguem lidar com 8 bits. Os sistemas de 16 ou 32 bits requerem grandes capacidades de armazenamento bem como de processamento. Outras condições (resolução do olho humano, do monitor ou da impressora, etc.) tornam mais conveniente a transformação final para 8 bits, mas distribuídas ao longo de 255 níveis de cinzento. Este processo de conversão é chamado de dimensionamento/*scaling*.

Frequentemente, são necessários melhoramentos radiométricos adicionais de modo a usar todos os níveis (0 a 255). Este processo chamado alongamento ou "*stretching*" aumenta o contraste da imagem permitindo uma melhor detecção de diversas características.

Particularmente, podem ser aplicados dois tipos de processamento radiométrico para a **calibração de imagens SAR**:

- Calibração absoluta: Estabelece uma relação entre o DN na imagem SAR e a retrodifusão do alvo, independentemente do tempo. É usado quando o DN é comparado entre duas imagens, por exemplo na definição da espessura (idade) do gelo, efeitos ambientais, etc.

- Calibração relativa: Estabelece a mesma relação entre o DN e a retrodifusão, mas apenas dentro da imagem. O resultado é um alvo que possui o mesmo brilho independentemente de onde a imagem SAR é obtida.

Normalmente, a calibração radiométrica é levada a cabo nas instalações onde a informação é recolhida.

3.2.7. Altimetria

A informação altimétrica terrestre e costeira é extraordinariamente importante para o hidrógrafo. A descrição do relevo facilita a compreensão da topografia costeira, ilhas, portos e infra-estruturas, etc.

Os sistemas de satélites de elevada resolução permitem a representação do relevo através de diversas maneiras. Presentemente, a representação cartográfica do relevo tem sido geralmente feita através de modelos numéricos (Modelos Numéricos Terrestres/*Terrain Numeric Model* TNM) e das suas versões digitais (Modelo Digital de Elevação ou Modelo Digital de Terreno/ *Digital Elevation Model* DEM ou *Digital Terrain Model* DTM).

Têm sido desenvolvidos procedimentos de forma a processar diversos tipos de informação (fotografia espacial, sensores VIR, SAR, altímetros) com diferentes formatos (analógico, digital) e para diferentes métodos (*shadowing*, estereoscopia, interferometria, polarimetria), tirando vantagem das diferentes características dos sensores e das imagens (geometria, radiometria, fase) e aplicando diversos tipos de tecnologias (analógica, analítica, digital) e de processamento (interativo, automático).

Entre os métodos, os estereoscópicos têm sido os que mais se desenvolveram para aplicações cartográficas (§ 3.1).

Aproveitando os recentes avanços na visão estereoscópica computorizada, têm sido alcançados consideráveis avanços na estereoscopia por satélite. Adicionalmente, a imagem radar estereoscópica tem tido um importante incentivo nos últimos 20 anos.

Desde o lançamento do ERS-1 foram desenvolvidas técnicas de interferometria usando modelos paramétricos. Com o início do RADARSAT-1 em 1995, a radiogrametria foi consolidada entre as diferentes metodologias para aplicações altimétricas, usada por si só ou complementada com imagens VIR (Toutin, 2000).

- **<u>Métodos estereoscópicos</u>**

Os métodos estereoscópicos são procedimentos similares aos usados em fotogrametria aérea (§ 3.1.7), onde duas imagens são usadas para construção de um modelo tridimensional.

Um restituidor permite a medição das características usando duas marcas variáveis (uma para cada par estéreo de imagens), o que permite a fusão das imagens de modo a produzir coordenadas cartográficas 3D (Toutin, 1995).

O processamento de uma par estéreo requer o uso de equipamento de restituição digital e *software* específico. Atualmente, existem sistemas compactos baseados em computadores pessoais que permitem a restituição de diferentes tipos de imagens digitais (aéreas, espaciais, VIR, SAR) (fig. 6.51).

Figura 6.51 “Esquema duma *stereo-restituidor* digital”

Existem várias combinações para capturar ambas as imagens, que podem ser obtidas em passagens de direção igual ou contrária, diversos ângulos de incidência, etc. O sistema HRV-SPOT possui um dispositivo móvel instalado num equipamento óptico que facilita a observação das mesma área em passagens sucessivas (Fig. 6.52).

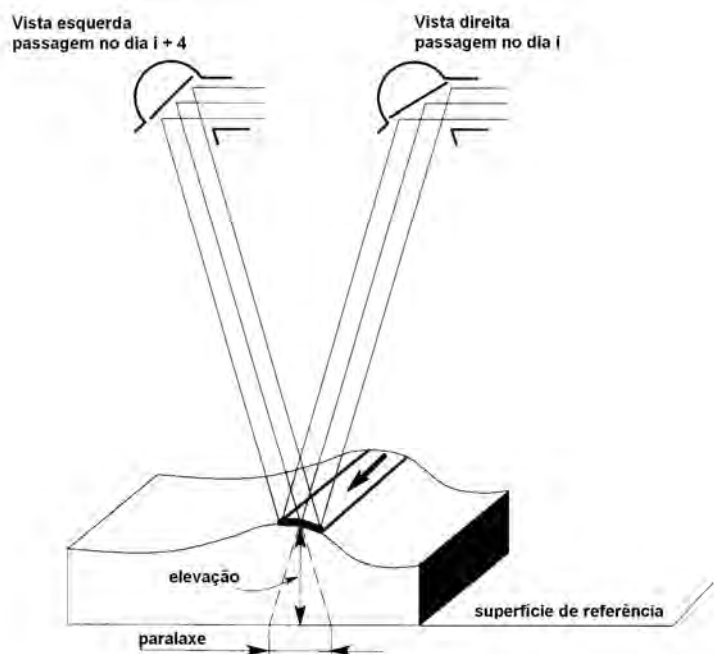



Figura 6.52 “Aptitude estéreo do SPOT HRV”

O sistema MOMS permite a captura de imagens dentro da mesma passagem ou ciclo através de câmaras apontadas para três diferentes direções: frente, trás e nadir. As imagens são obtidas com intervalos de 20 segundos a partir de três pontos diferentes (Fig. 6.53).

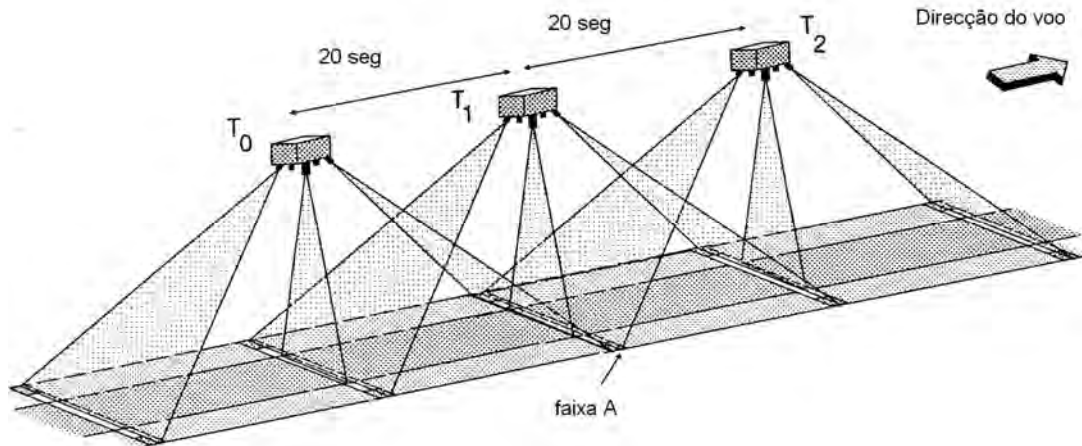



Figura 6.53 "Geometria estéreo do MOMS-02 (Dara, 1994)

Outro exemplo é o novo HRS (Estereoscópio de Alta Resolução/*High Resolution Stereoscopic*) a bordo do SPOT-5, que possui dois telescópios "olhando" para a frente e depois para trás na direção da trajetória orbital. Aquele que "olha" para a frente capta imagens com um ângulo de 20º á frente da vertical. 90 minutos depois, o que "olha" para trás "vê" a mesma área, mas desta vez com um ângulo de 20º para trás da vertical (Fig. 6.54).

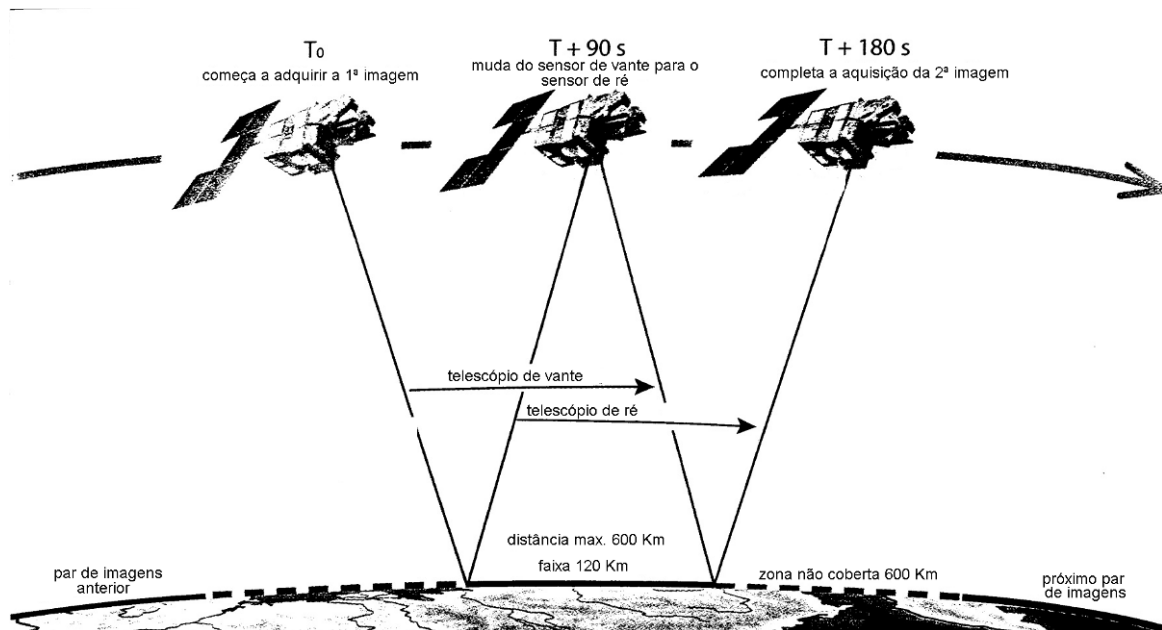



Figura 6.54 "Geometria estéreo do SPOT-5 HRS (SPOT IMAGE, 2002)"

- **Radargrametria**

É uma técnica idêntica à fotogrametria que usa imagens obtidas através de um sinal radar. É adquirido um par de imagens e, usando a sua correlação, é gerado um MDT. Neste caso, note-se que o ângulo de incidência é complementar ao correspondente na imagem óptica. A precisão é da mesma ordem do tamanho dos pixéis. Tal como na estereoscopia, existem diferentes configurações (Fig. 6.55).

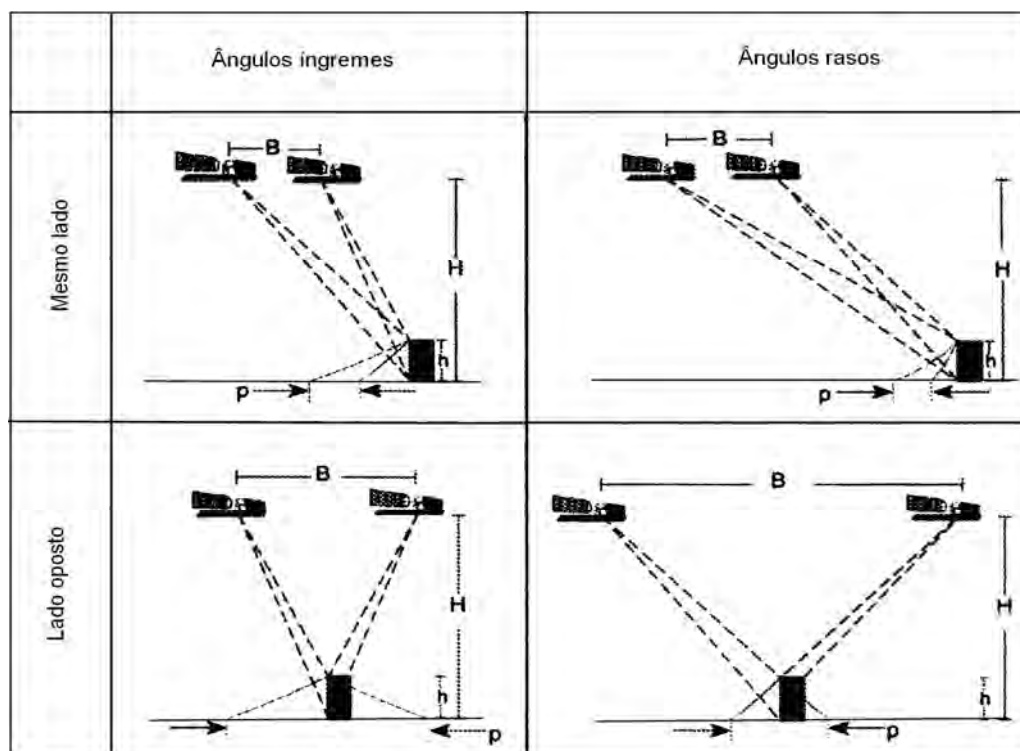



Figura 6.55 "Várias configurações estéreo SAR (Toutin, 2001)"

- **<u>Interferometria</u>**

Com o conhecimento da fase do sinal radar, podem ser gerados um canal de diferença de fase e outro de coerência de fase (ângulo de fase constante). Eles são úteis na interpretação da informação interferométrica.

São necessárias duas imagens, obtidas durante duas passagens consecutivas do satélite a uma distância chamada "base". A base deverá ser menor que o valor máximo e, dependendo da frequência da onda eletromagnética, varia entre os 500 e os 1000 metros. As condições ambientais (vento, chuva, etc.) durante a obtenção de ambas as imagens deverão ser as mais semelhantes possíveis.

Uma das imagens, a principal, é usada como referência para os cálculos. A outra, a secundária, em conjunto com a principal é usada para calcular o canal de diferença de fase, chamado de interferograma, e um de coerência, que é um indicador do grau de dependência das medições de fase. As fases devem então ser desenvolvidas, adotando uma resolução e transformando os limites do interferograma em curvas de nível no terreno.

Os problemas deste método:

a) A medição é ambígua uma vez que apesar da diferença de fase ser agora bem conhecida, o número de comprimentos de onda completos do radar ao alvo não é.

b) A fase depende das características radioelétricas do alvo. Se elas são modificadas entre a obtenção das imagens, não será obtida coerência. No entanto, se os limites do interferograma poderem ser construídos corretamente indica-nos que o alvo se manteve inalterado.

3.2.8. Aplicações Cartográficas

Nas últimas décadas, o potencial das imagens satélite, especialmente no domínio óptico para atualizações cartográficas tem aumentado. De acordo com o ISPRS, os requisitos para utilização destas imagens em cartografia podem ser divididos em três categorias:

- Precisão planimétrica;
- Precisão Altimétrica;
- Detetabilidade (Konecny, 1990)

A **precisão planimétrica**, mais exigente, está relacionada com a resolução cartográfica de ± 0.2 mm, o que gera requisitos para as escalas (1/D). Os mais frequentes são (Tabela 6.6):

Tabela 6.6

D	Precisão Planimétrica
25.000	+/- 5 m
50.000	+/- 10 m
100.000	+/- 20 m
200.000	+/- 40 m

O requisito para a **precisão altimétrica** (**h**), sabendo que a equidistância (**e**) é e = ±5.h, é mostrada na tabela 6.7.

Tabela 6.7 (Konecny, 1990)

E	H
20 m	+/- 4 m
50 m	+/- 10 m
100 m	+/- 20 m

A **detetabilidade** refere-se á possibilidade de detectar objetos começando com a interpretação digital. É necessário que o objeto cubra pelo menos 1,5 pixéis, o que cria para os exemplos seguintes as dimensões mínimas para detecção (Tabela 6.8).

Tabela 6.8 (Konecny, 1990)

Objeto – Alvo	Dimensão
Infra-estrutura urbana	2 m
Caminhos de terra	2 m
Rede de drenagem	5 m
Vial infrastructure	10 m

Tendo em consideração os principais sistemas de satélites comerciais e as escalas cartográficas mais comuns, pode ser produzida a seguinte tabela (Tabela 6.9):

Tabela 6.9

Sensor do Satélite	Resolução no terreno	Escala da carta
QUICK BIRD	0.7 m	1/3500
IKONOS	1 – 4 m	1/5000 – 1/20000

SPOT PAN	10 m	1/50000
Landsat 7 ETM	15 m	1/75000
SPOT XS	20 m	1/50000 – 1/100000
RADARSAT 1 SAR	8 – 30 m	1/30000 – 1/100000
ERS SAR	30 m	1/100000
Landsat TM	30 m	1/100000
Landsat MSS	80 m	1/250000
SAC-C MMRS	175 m	1/875000

PRINCIPAIS SISTEMAS DE SATÉLITE DISPONÍVEIS:

A lista seguinte não é exaustiva. Detalha apenas alguns dos sistemas mais comuns usados para cartografia de escala média/alta.

Sistema Satélite/ Série País	Tipo de órbita, Altitude, Período recorrente, Inclinação	Área de incidência, Resolução no terreno, Modos	Sensores Bandas espectrais
LANDSAT EUA	*Sun-synchronous* 705 km 16 dias 98.2°	185 x 185 km MSS: 80 m TM: 30 m ETM+:	 Multispectral Scanner (MSS) Banda 1: 0.5 – 0.6 µm (verde) Banda 2: 0.6 – 0.7 µm (vermelho) Banda 3: 0.7 – 0.8 µm (IR próximo) Banda 4: 0.8 – 1.1 µm (IR próximo) Thematic Mapper (TM) Banda 1: 0.45 – 0.52 µm (azul) Banda 2: 0.52 – 0.60 µm (verde) Banda 3: 0.63 – 0.69 µm (vermelho) Banda 4: 0.76 – 0.90 µm (IR próximo) Banda 5: 1.55 – 1.75 µm (IR próximo) Banda 6: 10.4 – 12.5µ m (IR térmico) Banda 7: 2.08 – 2.35 µm (IR médio) Enhanced Thematic Mapper (ETM+)
SPOT França	*Sun-synchronous* 832 km 23 dias 98.7°	60 x 60 km XS: 20 m P: 10 m	High Resolution Visible (HRV) Multi Band (XS) Banda 1: 0.49 – 0.59 µm (verde) Banda 2: 0.61 – 0.68 µm (vermelho) Banda 3: 0.79 – 0.89 µm (IR próximo) Pancromático (P) 0.51 – 0.73 µm
IRS Índia	*Sun-synchronous* 900 - 904 km 22 dias 99.5°	148 x 148 km LISS-I: 73 m LISS-II: 36.5 m	Linear Imaging Self Scanning (LISS-I) Banda 1: 0.45 – 0.52 µm (azul) Banda 2: 0.52 – 0.569 µm (verde) Banda 3: 0.62 – 0.68 µm (vermelho) Banda 4: 0.77 – 0.86 µm (IR próximo) Linear Imaging Self Scanning (LISS-II) Consiste em 2 câmaras, o mesmo de cima, com largura de faixa 74 km por câmara (juntas 145 km)
MOS Japão	*Sun-synchronous* 909 km 17 dias 99°	100 x 90 km MESSR: 50 m	MESSR Banda 1: 0.51 – 0.59 µm (verde) Banda 2: 0.61 – 0.69 µm (vermelho) Banda 3: 0.72 – 0.80 µm (IR próximo) Banda 4: 0.80 – 1.10 mµ (IR próximo)

JERS Japão	*Sun-synchronous* 568 km 44 dias 97.7°	75 x 75 km OPS: 18 x 24 m SAR: 18 x 18 m	Optical Sensor (OPS) Visible and Near Infrared (VNIR) Banda 1: 0.52 – 0.60 µm (verde) Banda 2: 0.63 – 0.69 µm (vermelho) Banda 3: 0.76 – 0.86 µm (IR próximo) Banda 4: 0.76 – 0.86 µm (IR próximo) Short Wave Infrared (SWIR) Banda 5: 1.60 – 1.71 µm Banda 6: 2.01 – 2.12 µm Banda 7: 2.13 – 2.15 µm Synthetic Aperture Radar (SAR) 1.275 GHz (L-Band) HH
ERS Europa	*Sun-synchronous* 777 km 3 - 35 dias 98.5°	AMI trabalha em 3 modos. Em modo de imagem: 100 x 100 km 30 x 30 m (3 vistas)	Active Microwave Instrument (AMI) Synthetic Aperture Radar (SAR) 5.3 GHz (C-Band) VV Ângulo de incidência fixo: 23°
RADARSAT Canadá	*Sun-synchronous* 798 km 3 - 24 dias 98.6°	Vários modos Em modo standard: 100 x 100 km 30 x 30 m (3 vistas) Em modo fino: 50 x 50 km 11 x 8 m (1 vista)	Synthetic Aperture Radar (SAR) 5.3 GHz (C-Band) HH Ângulo de incidência selecionável: Em modo standard: 20° – 50° Em modo fino: 37° – 48°
IKONOS EUA	*Sun-synchronous* 681 km 1-3 dias 98.1°	Vários ângulos de incidência Multi-banda: 4 m (com ângulo nominal de 26°) Pancromático:1 m (com ângulo nominal de 26°)	Banda 1: 0.45 – 0.52 µm (azul) Banda 2: 0.52 – 0.60 µm (verde) Banda 3: 0.63 – 0.69 µm (vermelho) Banda 4: 0.76 – 0.90 µm (IR próximo) Banda Pancromática: 0.45 – 0.90 µm

ACRÓNIMOS

AIRSAR	AIRborne SAR sensor, (J P L)
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CCD	Charge Coupled Device
CCRS	Canadian Centre for Remote Sensing
DGPS	Differential GPS
DLR	German Aerospace Research Establishment
DN	Digital Number
DTM	Digital Terrain Model
EDM	Electronic Distance Measurement
EODM	Electro-Optic Distance Measurement
ERS	European Remote Sensing Satellite
ESA	European Space Agency
ETM	Enhanced Thematic Mapper
GALILEO	European (ESA) Global Positioning Satellite System
GBAS	Ground Based Augmentation System (Reference System for differential satellite positioning)
GCP	Ground Control Point
GIS	Geographic Information System
GLONASS	Global Navigation Satellite System (Russia)
GNSS	Global Navigation Satellite System (GPS + GALILEO + GLONASS)
GPS	Global Positioning System (USA)
HRV	High Resolution Visible
IFOV	Instantaneous Field Of View
IHO	International Hydrographic Organization
IHS	Intensity Hue Saturation
IR	InfraRed
IRS	Indian Remote Sensing satellite
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote sensing
JERS	Japanese Earth Resources Satellite
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KFA 1000	Kosmologisher Fotoapparat with 1000 mm focal length
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
Lat	Latitude
Long	Longitude
LUT	Look-Up Table
MSS	MultiSpectral Scanner
NHO	National Hydrographic Office
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PAN	Panchromatic
ppm	Part per million (1 x 10-6)
RBV	Return Beam Vidicon
RGB	Red Green Blue
RS	Remote Sensing
RSI	RadarSat International
RTK	Real Time Kinematic (Precise GNSS rapid method)
S-44	Special Publication 44 (IHO Standards for Hydrographic Surveying)
SAR	Synthetic Aperture Radar
SBAS	Satellite Based Augmentation System (Reference system for differential satellite positioning)

SPOT	Satellite Pour l-Observation de la Terre (France)
SSMI	Special Sensor Microwave Imager
TM	Thematic Mapper
USFAA	United States Federal Aviation Association
UTM	Universal Transverse Mercator
VIR	Visible and near InfraRed
WAAS	Wide Area Augmentation System
WGS	World Geodetic System
WGS 84	World Geodetic System 1984
XS	Multispectral

REFERÊNCIAS

(O objectivo desta listagem é o de ajudar o leitor do capítulo 6 a encontrar mais informação através de artigos escritos ou paginas Web)

ALBERZ J. KREILING W., (1989).	“Photogrammetric Guide”	Wichmann, Karlsruhe (Germany)
ASPRS ,(1980).	“Manual of Photogrammetry”	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland, (USA)
ASPRS ,(1983).	“Manual of Remote Sensing. 2 Volumes”	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland, (USA) The Sheridan Press.
ASPRS ,(1996).	“Digital Photogrammetry”	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland, (USA)
BOMFORD G. (1980).	“Geodesy 4th Ed”	Claredon Press, Oxford (UK).
CHUECA PAZOS Et. Al. (1996).	“Tratado de Topografía (3 Volumes)”	Paraninfo, Madrid (Spain)
Chuvieco E. (1995).	“Fundamentos de Teledetección Espacial”	Editorial RIALP, Madrid, Spain, 453 pp.
CNES, (2002).	“HRS puts terrain into perspective”	SPOT Magazine N°34, 1st semester 2002, pp 10-11.
FEDERAL GEODETIC CONTROL COMMITTEE (1984).	“Standards and Specification for Geodetic Control Networks”	NOAA Rockville Maryland (USA)
GDTA, (1995).	“Aspects stéréoscopiques de SPOT, Cahier A2 MNT”	Les Cahiers Pedagogiques du GDTA, France, 93 pp.
GERMAN SPACE AGENCY, (1994).	“MOMS-02-D2 Data Catalogue”	DARA, München, Germany.
HOFMANN WELLENHOF Et.Al. (2001).	“GPS, Theory and Practice. 5th. Ed ”	Springer, Wien (Austria), New York (USA)
IHO (2008).	“IHO Standards for Hydrographic Surveys. S-44 5th. Ed ”	IHB, Monaco. There will be French and Spanish versions available
IHO (1994).	“Hydrographic Dictionary 5th Ed. S–32”	IHB, Monaco. Also available are Spanish version (1997) and French version (1998).
JOECKEL R., STROBER M. (1995).	“Elektronische Entfernungs und Richtungsmessung, 3th. Ed”,	Wittwer, Stuttgart (Germany).
KONECNY, G., (1990).	“Review of the latest technology in satellite mapping. Interim report, Inter-commission Working Group I/IV on International Mapping and Remote Sensing Satellite Systems of ISPRS, Vol.14”	Hanover, Germany, pp. 11-21.
LANGERAAR W. (1984).	“Surveying and Charting of the Seas”	Elsevier. Amsterdam (The Netherlands), Oxford (UK) New York (USA) Tokyo (Japan)
LAURILA S. (1976).	“Electronic Surveying and Navigation”	J. Wiley & Sons, New York (USA)
LEICK A. (1995).	“GPS Satellite Surveying. 2nd. Ed”.	Wiley Chichester, Brisbane. New York (USA) Toronto (Canada) Singapore.
LILLESAND, T.M. and KIEFER, R.W., (1987).	“Remote sensing and image interpretation, 2nd edition”	John Wiley and Sons, Inc., New York, 721 p.
MEISENHEIMER D.	“Vermessungsinstrumente Aktuell”	Wittwer, Stuttgart (Germany)

(1995).		
NASA, (1997).	"The Remote Sensing Tutorial".	Goddard Space Flight Centre, NASA Web Production. Written by: Nicholas M. Short, Sr.
OLLIVER F. (1995).	"Instruments Topographiques"	Eyrolles, Paris (France)
OLIVER C. and S. QUEGAN (1998).	"Understanding Synthetic Aperture Radar Images"	Artech House, Norwood, Massachuset (USA)
POHL, C., (1996).	"Geometric aspects of multi-sensor image fusion for topographic map updating in the humid Tropics"	ITC Publication Number 39, The Netherlands, 214 pp.
RANEY, R.K., (1992).	"Course notes; unpublished notes"	Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Canada.
RICHARDUS P. (1977).	"Project Surveying".	Balkema. The Netherlands.
SEEBER G. (1993).	"Satellite Geodesy"	W. de Gruyter Berlin (Germany) New York (USA)
SEEBER G. (2003).	"Satellite Geodesy 2nd. Ed "	Walter de Gruyter (Berlin - NY)
TORGE W. (2001).	"Geodesy"	W. de Gruyter Berlin (Germany) New York (USA)
TURNBULL D. (2001).	"The Evolution of an Object - Oriented Geospatial Information System Supporting Digital Nautical Chart Maintenance at the NIMA"	Bulletins Hydr. Int. Jul. Aug. - Sep; IHO, Monaco
TOUTIN, Th., (1998).	"Evaluation de la précision géométrique des images de RADARSAT"	Journal Canadien de télédétection, 23(1):80-88.
TOUTIN, Th., (1997).	"Single versus stereo ERS-1 SAR imagery for planimetric feature extraction"	International Journal of Remote Sensing, 18(18):3909-3914.
TOUTIN, Th. and B. RIVARD, (1997).	"Value-added RADARSAT Products for Geoscientific Applications"	Canadian Journal of Remote Sensing, 23(1):63-70.
TOUTIN, Th., (1995).	"Generating DEM from stereo images with a photogrammetric approach: Examples with VIR and SAR data"	EARSeL Journal Advances in Remote Sensing, 4(2):110-117.
WOLF R., BRINKER R.C. (1994).	"Elementary Surveying 9th. Ed. "	Harper Collins College Publishers New York (USA) There is available also a Spanish version "Topografía", Alfaomega, México (1998)

ENDEREÇOS URL

PAÍS	INSTITUIÇÃO	SÍTIO WEB
	European Space Agency	http://www.esa.int
	International Society on Photogrammetry and Remote Sensing	http://www.isprs.org
	Fédération Internationale de Géometres	http://www.Fig.net
	International Association of Geodesy	http://www.gfy.ku.dk/iag/
Argentina	Comisión Nacional de Actividades Espaciales	http://www.conae,gov.ar
Austr. – N.Z.	Australian - New Zealand Land Information Council	http://www.anzlic.org.au
Australia	Commonwealth Scientific & Industrial Research Organization	http://www.csiro.au
Australia	Surveying and Land Information Group	http://www.auslig.gov.au
Bolivia	Centro de Levantamientos Aeroespaciales y SIG	http://www.clas.unmss.edu.bo
Brazil	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	http://www.inpe.br
Canada	Centre For Remote Sensing	http://www.ccrs.nrcan.ca
Canada	Radarsat International	http://www.rsi.ca
Canada	Geodetic Survey	http://www.geod.emr.ca
Chile	Agencia Chilena del Espacio	http://www.agenciaespacial.cl
China	China Academy of Space Technology	http://fas.org/nuke/guide/china/contractor/cast.htm
France	Centre National d'Etudes Spatiales	http://www.cnes
France	Group pour le Développement de la Téledetection Aerospatiale	http://www.gdta.fr
Germany	Institute für Erdmessung, Hanover University	http://www.ife.unihannover.de
Germany	Institute für Angewandte Geodäsie	http://www.gibs.leipzig.ifag
Germany	Karlsruhe University	http://www.ipfr.bau.verm.uni.karlsruhe.de
Germany	GPS Information Bulletin Board System	http://www.gibs.leipzig.ifag.de
Germany	Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt	http://www.dlr.de
India	Indian Space Research Organization	http://www.isro.org
Italy	Agenzia Spaziale Italiana	http://www.asi.it
Japan	National Space Development Agency	http://www.nasda.go.jp
Russia	Russian Space Science Internet	http://www.rssi.ru
Spain	Instituto Nacional de Técnica	http://www.inta.es

PAÍS	INSTITUIÇÃO	SÍTIO WEB
	Aeroespacial	
Spain	Org. for Cartography and Geodesy	http://www.cartesia.org
Spain	Valencia University	http://www.miranda.tel.uva.es
Switzerland	Astronomical Institute Berne University	http://www.aiub.unike.ch
UK	Nottingham University	http://www.ccc.nottingham.ac.uk
UK	British National Space Centre	http://www.bnsc.uk
USA	Ohio State University (Centre for Mapping)	http://www.cfm.ohio.state
USA	Maine University	http://www.spatial.maine.edu
USA	Geological Survey (EROS)	http://edc.usgs.gov
USA	Earth Observation Handbook	http://www.eohandbook.com
USA	Goddard Space Flight Centre (NASA)	http://www.gsfc.nasa.gov
USA	Nat. Ocean. And Atm. Adm. Central Library	http://www.lib.noaa
USA	Nat. Aeronautic and Space Adm.	http://www.nasa.gov
USA	National Oceanic and Atmospheric Adm.	http://www.noaa.gov
USA	Geological Survey	http://www.usgs.gov
USA	Professional Survey (review)	http://www.profsurvey.com
USA	Department of Defence	http://www.defenselink.mil
USA	National Geodetic Survey	http://www.ngs.noaa.gov
USA	Institute of Navigation	http://www.ion.org
USA	Jet Propulsion Laboratory	http://www.jpl.nasa.gov
USA	Naval Observatory	http://www.usno.navy.mil
USA	GPS Interface Control Document	http://www.navcen.usc.mil/gps
USA	Interagency GPS Executive Board	http://www.igeb.gov
USA	Texas University	http://www.host.cc.utean.edu
USA	GPS Nav. Inf.	http://www.navan.uscg.mil/gps
USA	California - Los Angeles University	http://www.cla.esc.edu
USA	American Society for Photogr. and R.S.	http://www.asprs.org
USA	National Imagery and Mapping Agency	http://www.164.214.2.59
USA	GPS issues	http://www.206.65.196

BIBLIOGRAFIA

(Fontes digitais ou publicadas utilizadas na preparação do capítulo 6)

ASPRS, (1983).	"Manual of Remote Sensing"	American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 2 volumes. The Sheridan Press, USA, 2420 pp.
CHUVIECO E. (1995).	"Fundamentos de Teledetección Espacial"	Editorial RIALP, Madrid, Spain, 453 pp.
CURAN P.J. (1985).	"Principles of remote sensing"	Longman, London, England.
CURLANDER J.C. and R.N. MCDONOUGH, (1991).	"Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing"	John Wiley and Sons, Inc., Toronto
DRURY S.A., (1990).	"A Guide to Remote Sensing"	Oxford Science Publications, Oxford, USA, 199 pp.
ELACHI C. and F.T. ULABY, (1990).	"Radar Polarimetry for Geoscience Applications"	Artech House, Boston
ELACHI C. (1988).	"Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques"	IEEE Press, New York
FAO, (1990).	"Remote sensing applications to land resources"	FAO RSC Series 54, Rome, Italy.
FITCH J.P. (1988).	"Synthetic Aperture Radar"	Springer-Verlag, New York
HENDERSON F.M. and A.J. LEWIS, EDS. (1998).	"Principles and Applications of Imaging Radar, Manual of Remote Sensing, Third Edition, Volume 2"	John Wiley & Sons, Inc., Toronto
KNEISSL M. (1956).	"Handbuch der Vermessungskunde Band III (Hohenmessung, Tachymetrie)"	Metzer, Stuttgart (Germany)
KNEISSL M. (1958).	"Handbuch der Vermessungskunde Band IV (Mathematische Geodäsie)"	Metzer, Stuttgart (Germany)
KNEISSL M. (1963).	"Handbuch der Vermessungskunde Band II (Feld und Land Messung, Abstekungsarbeiten)"	Metzer, Stuttgart (Germany)
MAGUIRE D. et al (1991).	Geographic Information System Principles and Applications"	John Wiley & Sons N.Y.
NASA, (1997).	"The Remote Sensing Tutorial"	Goddard Space Flight Centre, NASA Web Production. Written by: Nicholas M. Short, Sr.
OLIVER C. and S. QUEGAN (1998).	"Understanding Synthetic Aperture Radar Images"	Artech House, Norwood, Mass.
RINNER K., BENZ F. (1966)	"Handbuch der Vermessungskunde Band VI (Die Entfernunsmessung nit Elektromagnetische Wellen und ihre geodätische Anwendung)"	Metzer, Stuttgart (Germany)
RINNER K., BENZ F. (1971).	"Handbuch der Vermessungskunde Band III a,3 Volumes (Photogrammetrie)"	Metzer, Stuttgart (Germany)
RUSSELL - WOLF (1984).	"Elementary Surveying"	Harper and Row Publishers, New York (USA)

Foram também utilizados os seguintes textos da lista de referências:

ALBERZ J. KREILING W (1989)
ASPRS (1996)
BOMFORD G. (1980)

CHUECA PAZOS Et Al (1996)
HOFMANN WELLENHOF Et Al (2001)
IHO (1998)
IHO (1994)
LANGERAAR W. (1984)
MEISENHEIMER D. (1995)
SEEBER G. (1993)
TORGE W. (2001)
WOLF R, BRINKER R.C. (1994)

ANEXO A – ALGORITMOS PARA A REPRESENTAÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR

1. APRESENTAÇÃO

A Representação Transversa de Mercator (capítulos 2, 2.5.4 e 2.5.5) é um meio útil para a transformação de coordenadas geodésicas (latitude e longitude) para o plano. O uso de coordenadas planas (x ou y e N ou E) com pequenas correções relacionadas com as distâncias e ângulos medidos é aplicável aos levantamentos topográficos bem como para alguns levantamentos hidrográficos detalhados.

2. CONCEITOS DE GEODESIA GEOMÉTRICA E DE CARTOGRAFIA MATEMÁTICA

Antes do estudo destes conceitos, o leitor deveria estar familiarizado com o capítulo 2: 2.4 e 2.5, com particular atenção aos sub-parágrafos 2.5.4 e 2.5.5.

Tomando em conta o elipsóide como superfície de referência, sendo '**a**' o eixo-maior (eixo equatorial) e '**b**' o eixo-menor (eixo polar), é possível definir:

$$f = \frac{a-b}{a}$$ (achatamento, descrito como 'α' no capítulo 2: 2.2.3)

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a}$$ (primeira excentricidade, descrito como 'e' no capítulo 2: 2.1.1)

$$\varepsilon' = \frac{\sqrt{a^2-b^2}}{b}$$ (segunda excentricidade)

Recorrendo a procedimentos algébricos elementares, é possível verificar as relações seguintes:

$$f(2-f) = \varepsilon^2$$
$$(1-f)^2 = 1-\varepsilon^2$$

Com as constantes descritas, é possível o cálculo do raio de curvatura e linhas de arco na superfície elipsoidal:

$$M = a(1-f)^2\left[1-f(2-f)\sin^2\varphi\right]^{-3/2} = a(1-\varepsilon^2)\left[1-\varepsilon^2\sin^2\varphi\right]^{-3/2}$$
$$N = a\left[1-f(2-f)\sin^2\varphi\right]^{-1/2} = a\left[1-\varepsilon^2\sin^2\varphi\right]^{-1/2}$$
$$r = N\cos\varphi$$

$$\Delta p_{12} = r(\lambda_2-\lambda_1)$$
$$B = \int_0^{\varphi} M d\varphi = \alpha\varphi + \beta\sin 2\varphi + \gamma\sin 4\varphi + \delta\sin 6\varphi + ...$$

Onde (ver fig. 6A.1):

M – raio de curvatura meridional

N – secção do raio de curvatura normal ao meridiano

R – raio de curvatura do paralelo

φ – Latitude geodésica (elipsoidal)

Δp_{12} – Paralelo está entre as longitude λ_1 e λ_2 na latitude φ, $(\lambda_2 - \lambda_1)$ expressa em radianos

B – Arco de meridiano desde o equador até à latitude φ (para o primeiro termo = $\alpha\varphi$ (*alpha*, *phi*), φ (*phi*) deve ser expresso em radianos)

$\alpha = a\ (1 - 1/4\ \varepsilon^2 - 3/64\ \varepsilon^4 - 5/256\ \varepsilon^6) = a\ (1-f)^2\ (1 + 3/2\ f + 33/16\ f^2 + 85/32\ f^3)$

$\beta = -a\ (3/8\ \varepsilon^2 + 3/32\ \varepsilon^4 + 45/1024\ \varepsilon^6) = -a/2(1-f)^2\ (3/2\ f + 3\ f^2 + 285/64 f^3)$

$\gamma = a\ (5/256\ \varepsilon^4 + 45/1024\ \varepsilon^6) = a/4(1-f)^2\ (15/16\ f^2 + 75/32\ f^3)$

$\delta = -a\ (35/3072\ \varepsilon^6) = -a/6(1-f)^2\ (35/64\ f^3)$

Figura 6A.1

A tabela seguinte contém as constantes descritas para os dois elipsóides mais comuns, com o valor 'Q' (arco de meridiano, B, do equador ao pólo) adicionado.

ELIPSOIDE	MADRID 1924	WGS 84
A	6378388 m	6378137 m
F	1/297	1/298,2572236
$\varepsilon^2 = f\ (2 - f)$	0.0067226722	0,0066943800
α	6367654,500 m	6367449,146 m
β	-16107,035 m	-16038,509 m
γ	+ 16,976 m	+ 16,833 m
δ	- 0,022 m	- 0,022 m
Q	10002288,30 m	10001965,73 m

A forma matemática para gerar a representação do elipsóide no plano é:

$$x = x(\varphi, \lambda)$$
$$y = y(\varphi, \lambda)$$

E, esta fórmula fornece as propriedades para esta representação. Para uma representação conforme ou ortomórfica é necessário a substituição da latitude por uma nova variável, a “latitude isométrica” ou a “parte meridional”.

$$q = \int_0^{\varphi} \frac{M}{N \cos \varphi} d\varphi$$

A origem desta função é a representação de Mercator do elipsóide da terra no plano, começando por um cilindro circular cuja orientação do eixo coincide com o eixo-menor ‘**b**’ da elipse de rotação e a superfície tangente ao respectivo equador (Figura 6A.2)

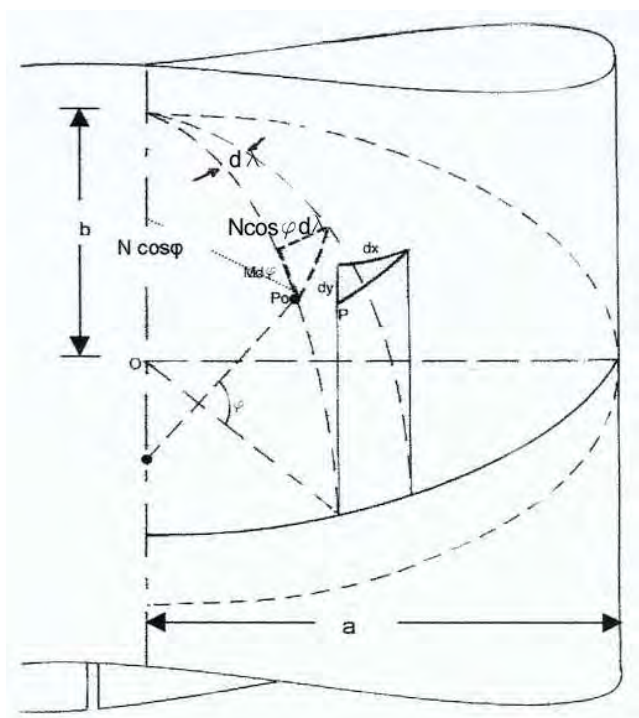



Fig 6A.2

Tomando o eixo ‘**y**’ com a projeção do meridiano de origem longitudinal (λ= 0) no cilindro, com y = 0 para φ = 0 e o eixo do ‘**x**’ representando o equador, com x = 0 para λ = 0, é possível mostrar:

$$x = a\lambda$$

(isometria na linha tangente = equador) mas, neste caso, o ‘**y**’ deveria satisfazer a variação diferencial seguinte (Fig. 6A.2)

$$\frac{dy}{Md\varphi} = \frac{dx}{N \cos \varphi d\lambda} = m$$

Onde **m** é coincidente com $\mathbf{m_1}$ dado em 2.4, capítulo 2. Também:

$$\frac{dy}{Md\varphi} = \frac{ad\lambda}{N\cos\varphi d\lambda} = \frac{a}{N\cos\varphi} = m$$

E,

$$y = a\int_0^{\varphi} \frac{M}{N\cos\varphi} d\varphi = aq$$

Resolvendo o integral é possível expressar:

$$q = \ln\left[\left(\frac{1-\varepsilon\sin\varphi}{1+\varepsilon\sin\varphi}\right)^{\varepsilon/2} tg\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\right]$$

A figura 6A.3 mostra a representação parcial da grelha dos meridianos e paralelos e também da linha geodésica (distância mínima sobre a superfície do elipsóide) entre os pontos A e B para esta transformação (x = aλ, y = aq).

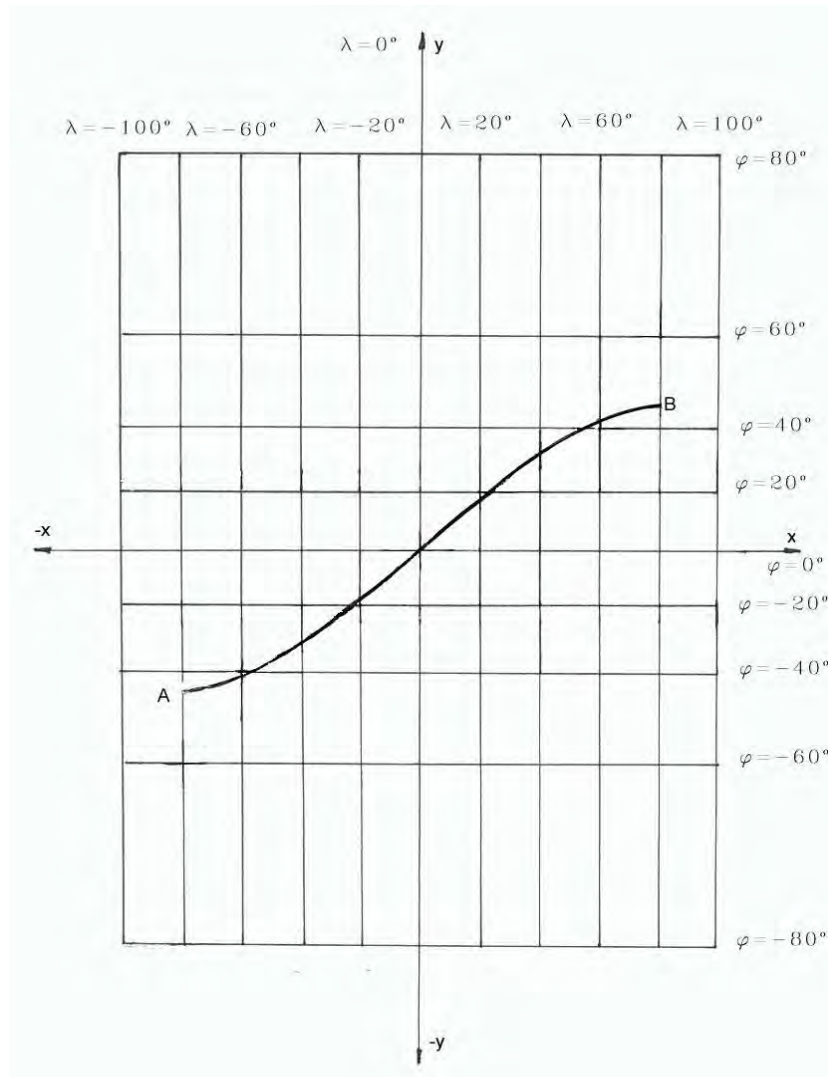



Figura 6A.3

Os algoritmos baseados nestes princípios, mas com outras suposições, são úteis para a cartografia náutica, mas para futuras deliberações neste anexo é suficiente relembrar que:

$$x = a\lambda$$
$$y = aq$$
$$q = \int_0^{\varphi} \frac{M}{N\cos\varphi} d\varphi$$

é uma transformação conforme do elipsóide para o plano, em conclusão dos princípios das funções analíticas, é aplicável:

$$y + ix = f\left(q + i\lambda\right)$$

(tomando o **y** como o Norte e o **x** como o Este) onde $i=(-1)^{1/2}$ e as condições Cauchy-Riemann devem ser satisfeitas:

$$\frac{\partial y}{\partial q} = \frac{\partial x}{\partial \lambda}$$
$$\frac{\partial x}{\partial q} = -\frac{\partial y}{\partial \lambda}$$

Isto é possível porque **q**, **λ** e **x, y** são dois pares de coordenadas planas.

Para uma melhor compreensão deste assunto, é recomendada uma consulta mais aprofundada doutros manuais de matemática em variáveis complexas e a sua aplicação nas transformadas conformes no plano.

A relação geral 2.1, a condição Cauchy – Riemann e as considerações seguintes são válidas para todas as transformações conformes (não apenas para as expressões de Mercator descritas).

Outras fórmulas matemáticas para a representação genérica conforme são oriundas de expressões diferenciais de x = x (φ,λ) and y = y (φ,λ):

$$dx = \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right) d\varphi + \left(\frac{\partial x}{\lambda}\right) d\lambda$$
$$dy = \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right) d\varphi + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right) d\lambda$$

Onde φ = constante (arco de paralelo), o quadrado das distâncias diferenciais planas $dx^2 + dy^2$ dão, com o elemento elipsoidal correspondente $\left(N\cos\varphi d\lambda\right)$ o quadrado da deformação linear:

$$m^2 = \frac{\left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)^2}{N^2\cos^2\varphi}$$

E também para questões onde λ=constante e o arco de meridiano elementar M dφ:

$$m^2 = \frac{\left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)^2}{M^2}$$

Também é válido:

$$m^2 = \frac{\left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)^2}{M^2} = \frac{\left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)^2}{N^2 \cos^2 \varphi} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Decorrente da mesma expressão diferencial:

$\frac{dx}{dy}$ (para φ= constante)

$\frac{dy}{dx}$ (para λ = constante)

é possível obter a formulação da declinação '**γ**' da grelha (γ é o ângulo entre o eixo cartesiano e as linhas dos respectivos meridianos e paralelos representados (fig. 6A.4)

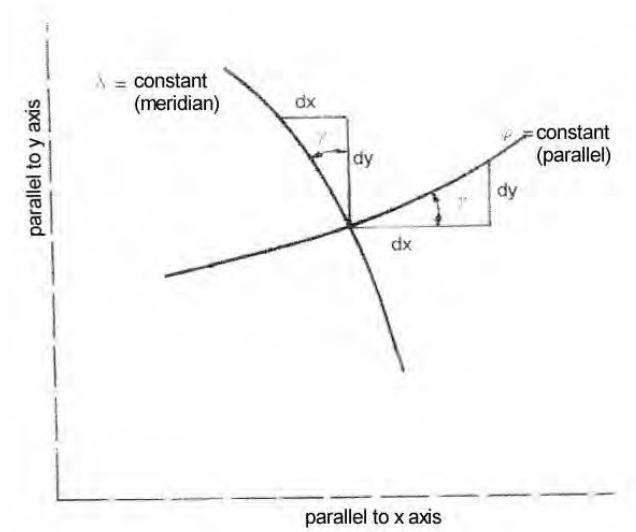



Figura 6A.4

$$tg\gamma = \frac{\left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)}{\left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)} = \frac{\left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)}{\left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)} \qquad \textbf{(2.3)}$$

nesta formulação, o sinal de **γ**, i.e. tg(γ) não é considerado.

3. FÓRMULAS GAUSS-KRÜGER

De forma a começar o desenvolvimento de uma representação conforme com o mínimo de deformação ao longo de uma faixa Norte-Sul será assumida uma tangente ao cilindro elíptico no meridiano central (fig. 6A.5).

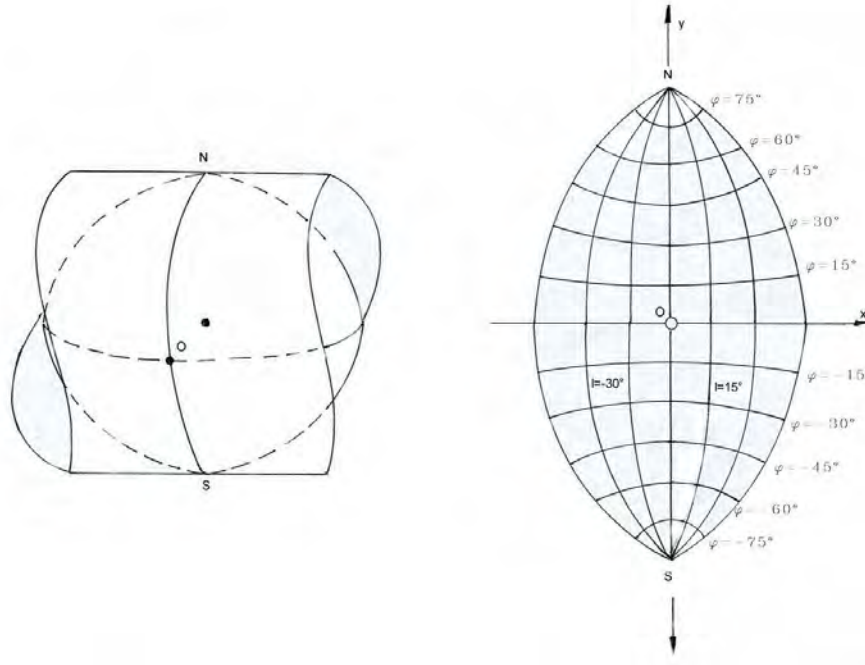



Figura 6A.5

Uma representação mais extensa da malha de meridianos e paralelos é dada na fig. 2.6 (2.5.4 Capítulo 2), mas no seguinte caso inicia-se com a fig. 6A.5.

Neste caso, a formula 2.1 será transformada da seguinte forma:

$$f(q+il)=y+ix$$

Onde **'l'** é a longitude referente ao meridiano central:

$$l=\lambda-\lambda_0$$

Adotando a uma serie de Taylor:

$$f(q+il)=f(q)+\frac{df}{dq}(il)+\frac{d^2f}{dq^2}\frac{(il)^2}{2!}+\frac{d^3f}{dq^3}\frac{(il)^3}{3!}+\frac{d^4f}{dq^4}\frac{(il)^4}{4!}+\ldots$$

E separando a parte real da parte imaginária, é produzida a expressão para a representação conforme da faixa descrita

$$x=f(q) \qquad -\left(\frac{d^2f}{dq^2}\right)\frac{l^2}{2} \qquad +\left(\frac{d^4f}{dq^4}\right)\frac{l^4}{24}+\ldots$$

$$y = \left(\frac{df}{dq}\right)\cdot l + \left(\frac{d^3 f}{dq^3}\right)\frac{l^3}{6} + \ldots$$

Assumindo a equidistância ao longo do meridiano central (l=0), é correto fazer:

$$y(l=0) = f(q) = B = \int_0^{\varphi} M d\varphi$$

E depois:

$$\frac{df}{d\varphi} = M$$

E também, relembrando que:

$$q = \int_0^{\varphi} \frac{M}{N\cos\varphi} d\varphi$$

É possível obter

$$\frac{d\varphi}{dq} = \frac{N\cos\varphi}{M}$$

E também:

$$\left(\frac{df}{dq}\right) = \left(\frac{df}{d\varphi}\right)\left(\frac{d\varphi}{dq}\right) = N\cos\varphi$$

Partindo destes princípios, é possível obter as seguintes derivações:

$$y = B + \frac{N\sin\varphi\cos\varphi}{2} l^2 + \frac{N\sin\varphi\cos^3\varphi}{24}\left(5 - tg^2\varphi + 9\eta^2 + 4\eta^4\right)\cdot l^2 + \ldots$$

$$x = N\cos\varphi l + \frac{N\cos^3\varphi}{6}\left(1 - tg^2\varphi + \eta^2\right)\cdot l^3 + \ldots$$

Onde **B** e **N** são dados na formulação do ponto 2 deste anexo, e η^2 é:

$$\eta^2 = \varepsilon'^2\cos^2\varphi = \frac{f(2-f)}{1-f(2-f)}\cos^2\varphi$$

‘l’ é dado pela fórmula 2.4 e a sua aplicação na 2.5 deverá ser expressa em radianos.

Considerando 2.2, 2.3 e 2.4 vem também:

$$\gamma = \sin\varphi l + \ldots$$

$$m = 1 + \frac{\cos^2\varphi(1+\eta^2)}{2} l^2 + \ldots = 1 + \frac{x^2}{2R^2} + \ldots$$

Onde:

$$R=\sqrt{MN}=\frac{a(1-f)}{[1-f(2-f)\sin^2\varphi]}$$

(**R** é o melhor raio esférico para o elipsóide na latitude **φ**)

Para a computação inversa (para obter **φ**, partindo de **x**,**y** chegando a **λ**) são necessárias as seguintes fórmulas:

$$\varphi=\varphi_1-\frac{tg^2\varphi_1}{2}\left(\frac{x^2}{M_1N_1}\right)+\frac{tg\varphi_1}{24}\left(5+3tg^2\varphi_1+\eta_1^2-9\eta_1^2tg^2\varphi_1\right)\left(\frac{x^4}{M_1N_1^3}\right)+...$$

$$l=\frac{x}{N_1\cos^2\varphi_1}-\left(\frac{1+2tg^2\varphi_1+\eta_1^2}{6\cos\varphi_1}\right)\left(\frac{x}{N_1}\right)^3+...$$

$$\lambda=\lambda_0+l$$

onde φ_1 é a latitude que torna possível B(φ)=y.

A representação com estes algoritmos foi aplicada por Gauss no princípio do séc. XIX para o reino de Hannover. 100 anos depois, o Dr. L. Krüger fez uma análise explanatória e uma extensão das expressões, tendo sido aplicadas em várias faixas sobre a Alemanha. Outros países seguirão o seu exemplo.

Com o cilindro tangencial, onde m=1 no meridiano central da faixa, a largura da faixa deverá ser inferior a 200 km para cada lado do meridiano central, uma vez que o gradiente da deformação linear $\left(m=1+x^2/2R^2+...\right)$ ultrapassa o valor de 1,0005, ou seja 0,5m por quilometro.

Com esta limitação, o uso de coordenadas planas é bastante conveniente para cartografia, bem como para computações de controlo de redes. Para melhores resultados, deverá ser feita uma correção dos elementos medidos (Cap. 6, #2.2.5).

4. REPRESENTAÇÕES TRANSVERSAS DE MERCATOR (ver 2.5.4 e 2.5. no capítulo 2)

A representação Gauss-Krüger, após a segunda guerra mundial, foi também chamada de Transversa de Mercator e foi utilizada intensamente em muitos países. Por esta razão, várias constantes e coeficientes foram adotados. São válidas para N (coordenada norte) e E (coordenada este):

$$N=Y_0+Ky$$
$$E=X_0+Kx$$

E consequentemente,

$$m=K\left(1+\frac{x^2}{2R^2}+...\right) \qquad \textbf{(2.8)}$$

K é um coeficiente (inferior a 1) que reduz o gradiente da deformação linear e permite uma extensão da largura da zona (i.e. 300 Km para cada lado do meridiano central), particularmente para topografia aplicada à cartografia em escalas menores que 1:100000 (1:200000 ...)

Y_0: Falso norte

X_0: Falso este

K: fator de escala no meridiano central

A aplicação do coeficiente **K** faz com que, no meridiano central apareça como uma deformação linear negativa, i.e. para K=0.9998, as distâncias elipsoidais contraiam-se 20cm/km e as linhas isométricas sejam transferidas em duas linhas paralelas para a imagem do meridiano descrito. Esta superfície tangencial é substituída por um cilindro elíptico secante.

Para os Estados Unidos, o sistema de georreferenciação "Universal Transverse Mercator (UTM)", os valores adotados são:

K = 0.9996

Y_0 = 0 ou 10000000 (para o hemisfério Norte ou Sul, respectivamente)

X_0= 500000 para cada meridiano central

E as zonas são distribuídas ao longo de intervalos de 6º de longitude, de acordo com a tabela seguinte:

ZONE (Z)	CENTRAL MERIDIAN (LONGITUDE)	APPLICATION RANGE (LONGITUDE)
31	3°	0° to 6
32	9°	6° a 12°
.	.	.
.	.	.
.	.	.
50	117°	114° a 120°
.	.	.
.	.	.
.	.	.
60	177°	174° a 180°
1	183° (-177°)	180° a 186° (-174°)
.	.	.
.	.	.
.	.	.
20	297°(-63°)	294° (-66°) a 300° (-60°)
.	.	.
.	.	.
.	.	.
29	351° (-9°)	348° (-12°) a 354° (-6°)
30	357° (-3°)	354° (-6°) a 0°

O número de zona (Z) pode ser calculado partindo da longitude do meridiano central com a seguinte formulação:

$$Z = 30 + \frac{CM + 3}{6}$$ (hemisfério Leste)

$$Z = \frac{183 + CM}{6}$$ (hemisfério Oeste)

Na segunda fórmula (oeste), os valores da longitude (do meridiano central) são negativos.

Existem imensos programas informáticos para calcular e resolver as transformações da transversa de Mercator, com os algoritmos descritos em 3 e 4 deste anexo. No entanto, é desejável que o utilizador possua conhecimentos razoáveis sobre este assunto.

Em muitos casos e aceitável selecionar o esquema geral da transversa de Mercator adotado ao país a representar, mas em casos particulares, existe a possibilidade de selecionar melhores procedimentos de representação plana. Para este fim, é importante lembrar que a representação da transversa de Mercator é particularmente aplicável numa faixa orientada segundo o eixo norte-sul, onde a largura para este e oeste não exceda os 400 km (200 para cada lado do meridiano central).

Depois de selecionar o meridiano central, tomando em consideração a redução de qualquer distância da área selecionada para esta linha, ainda existe a possibilidade de escolher um coeficiente **K** (ver formulas 2.8) para uma melhor distribuição do gradiente de deformação linear em todo o domínio da representação.

Para efeitos topográficos, incluindo definição da linha de costa, ajudas ao posicionamento da navegação, descrição pormenorizada das zonas costeiras e levantamentos portuários, um gradiente de deformação linear abaixo de 0.2m/km é melhor; i.e. ‘**m**’ entre 0.9998 e 1.0002.

ANEXO B – EXEMPLOS DE EQUIPAMENTO COMERCIAL

1. INTRODUÇÃO

Neste anexo encontra-se uma lista de moradas, contactos telefónicos e websites de alguns dos fornecedores de equipamento utilizado em levantamentos topográficos e de detecção remota. No entanto, a analise dos livretos comerciais ou paginas Web é uma maneira recomendada de se manter a par da tecnologia disponível, informação de preços e lançamentos de novos produtos.

No âmbito dos sistemas de levantamentos terrestre existe uma grande diversidade de estações totais disponíveis, bem como níveis altimétricos com auto alinhamento, leitura digital de uma estadia com código de barras e software de processamento.

Existe uma grande variedade de câmaras analógicas, digitais e incluindo películas com posicionamento GNSS, digitalizadores, restituidores, estações de tratamento de imagem e software especifico para processamento digital e produção de ortofotos O mídia Geoespacial fornece muitas possibilidades para elaboração de produtos e acesso a imagem e produtos de imagem através de servidores WEB.

2. ENDEREÇOS E PÁGINAS WEB

Abaixo encontra-se uma lista de companhias ou entidades que disponibilizam equipamento, produtos e serviços relacionados com os assuntos tratados no Capitulo 6. Não é de todo exaustiva e é esperado que seja criada uma diretoria mais abrangente em futuras versões deste manual

NOME DA INSTITUIÇÃO	EQUIPMENTOS, PRODUCTOS OU SERVIÇOS	MORADA/PAÍS	SÍTIO WEB ou E-MAIL
AGFA GEVAERT	Photogrammetric Films	B-2640 Mortsel BELGIUM	www.agfa.com
ANEBA, Geoinformatica	Topographic software (CARTOMAP)	Nicaragua 48. 2°, 6° 08029 - Barcelona SPAIN	www.aneba.com
ASAHI PRECISION	Theodolites, Levels, Total Stations (Pentax)	2-5-2 Higashi Oizumi Nerima-ku, Tokyo JAPAN	www.pentax.co.jp
CLARK LABS	Cartographic Software, GIS (IDRISI)	Clark University 950 Main Street Worcester, MA 01610-1477 USA	www.clarklabs.org
EARTH RESOURCE MAPPING (ERMAPPER)	imagery products and software for GIS database	4370 La Jolla Village Drive suite 900 San Diego CA USA	www.ermapper.com www.earthetc.com
ERDAS	Images Processing software	USA	www.esdas.com
ESRI	GIS (ArcInfo, ArcView)	USA	www.esri.com info@esri.com
EURIMAGE	Imagery Products	Viale e. D'Onofrio 212, 00155 Rome, Italy	
GARMIN Int.	GPS Navigators	1200E 151 st., Street Olathe, KS 66062 – USA	www.garmin.com
GEOMATECH	Geomatics, GIS and cartography services and assistance	2, rue Philippe Lebon, BP 102, 44612, Saint Nazaire, FRANCE	geomatech@wanadoo.fr

GODDARD SPACE FLIGHT CENTER	Remote Sensing Assistance	USA	http://www.gsfc.nasa-gov
Hewlett-Packard	Hardware	USA	www.hp.com
Institute Cartografic de Catalunya	Cartographic, geomatics, photogrammetric and remote sensing services	Parc de Montjuic s/n, 08038 Barcelona, España	www.icc.es
INTERGRAPH CORPORATION	Soft/Hardware and images for Cartographic processing	P.O. Box 6695 Mailstop MD IW17A2 Huntsville Al 35894-6695 USA	http://imgs.intergraph.com www.intergraph.com
ISM Europe S.A.	Photogrammetric software and hardware, and services.	Passeig de Fabra i Piug 46, 08030, Barcelona, ESPAÑA	sales@ismeurope.com www.ismeurope.com
ITC	Photogrammetric and Cartographic assistance	Hengelostraat 99 P.O BOX 6 THE NETHERLANDS	www.itc.nl ilwis@itc.nl
KODAK, GR-OUPE ALTA	Films for Photogrammetry GIS, Cartography, Remote processing	Hant Monts Inc 3645, Boulevard Sainte-Anne Beauport (Quebec) CANADA G1E3L1	www.kodak.com www.mb-gepair.com www.groupealta.com
LEICA GEOSISTEMS AC	Total Stations Levels, Theodolites, GNSS, Photogramm. Cameras, Stereo plotters, Scanners	CH.9425 Heerbrugg SWITZERLAND	www.leica-geosistems.com
MAPINFO	Software for Cartography, Photogrammetry and GIS	USA	www.mapinfo.com
MicroImage, Inc	Software, Image processing TNT MIPS software	11th. Floor, The Sharp Tower 206 south 13th street Lincoln. NE 68508-2010 USA	www.microimages.com
OMNISTAR, INC.	Worldwide (satellite based) DGPS Service	8200 Westglen Dr. 77063-Houston, TX USA	www.omnistar.com
PCI GEOMATICS	Software for cartography and GIS	50 west Wilmon Street, Richmond Hill, Ontario CANADA L4B1M5	www.pci.on.ca sales@pci.on.ca
P.GEERDERS Consultancy	Marine and coastal remote sensing applications services	Kobaltpad 18, 3402 JL, Ijsselstein, THE NETHERLANDS	pgcons@wxs.nl plaza.wxs.nl/pgconsult/
RADARSAT International	Images and Image Products.	CANADA	www.rsi.ca
RESEARCH SYSTEMS	ENVI Software	USA	www.rsinc.com
SITEM S.L.	Photography and satellite image processing, Digital Elevation Models cartography	Aragó 141-143, 08015 Barcelona, ESPAÑA	www.sitem-consulting.com
SOKKIA CO.LTD.	Total Stations Level, Theodolites	20-28, ASAHICHO 3-C HOME, MACHIDA,TOKIO,194-0023 JAPAN	www.sokkia.co.jp
SPOT Image	Remote Sensing Images, Products, etc.	FRANCE	http://www.spotimage.com
THALES NAVIGATION	GNSS (ASHTECHMAGUELLAN)	471 El Camino Real Santa Clara, CA 950050 – USA	www.ashtech.com

TRIMBLE NAVIGATION	GNSS, Total Stations, Theodolites, Levels, geodetic and topo-cartographic software	645 North Mary Ave. Sunnyvale, CA 94088-3642 USA	www.trimble.com
XYZ Sistemas Industriales S.A.	Cartographic and data base handling for their use with Internet Mapper application	Av. Infantes 105, 39005 Santander, Cantabria. ESPAÑA	www.imapper.com
Z/I Imaging Corporation	Cameras, Scanners, Stereo-plotters, GIS	301 Chochran Road, Suite 9 Huntsville AL USA 35824	www.ziimaging.com

---

CAPÍTULO 7 - PRÁTICA HIDROGRÁFICA

1. INTRODUÇÃO

A execução de um levantamento hidrográfico é um processo contínuo, desde o reconhecimento até à aprovação dos resultados nos quais todas as partes envolvidas efetuam um trabalho metódico e meticuloso de forma a obter bons resultados. A mais cuidadosa e precisa recolha de dados poderá ser desperdiçada se os dados não forem processados cuidadosamente, conferidos e apresentados de uma maneira clara e compreensível.

Toda a informação deve ser recolhida, validada e conferida de uma forma lógica e uniforme, utilizando termos claros e inequívocos para que os dados possam ser utilizados e compreendidos durante o levantamento e no futuro.

O uso de sistemas computorizados e de instrumentação sofisticada em todas as áreas não diminuiu a responsabilidade do hidrógrafo. A necessidade por um controlo rigoroso da qualidade é essencial, mas cada vez mais difícil pelo aumento do volume e da complexidade dos dados adquiridos. O hidrógrafo deve entender os princípios dos equipamentos utilizados, ser meticuloso de forma a assegurar que quaisquer dados adquiridos estão corretos e examinar cuidadosamente os dados processados antes da sua passagem à próxima fase. Só desta forma é que se consegue assegurar que os dados finais são de elevada qualidade e que cumpram a sua função até que um novo levantamento possa ser repetido décadas, ou talvez mesmo, séculos depois.

Nada substitui a experiência prática, onde o conhecimento teórico se transforma em habilidade prática. O tempo gasto no campo na aquisição de dados sobre a alçada de um hidrógrafo experiente realçará as muitas dificuldades e problemas complexos que necessitam de ser superados de forma a assegurar que o produto final satisfaça os requisitos iniciais. A operação e manuseamento de equipamentos altamente sofisticados só podem ser aprendidos no decorrer das tarefas práticas de um levantamento hidrográfico.

Os processos são discutidos em maior detalhe nas secções seguintes. Os pontos cobertos não são exaustivos e o hidrógrafo tem que usar o seu julgamento e experiência para alargar ou restringir a lista conforme considere adequado. Este capítulo considerará princípios gerais aplicáveis a qualquer levantamento.

2. PLANEAMENTO DE UM LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO

Como se poderá verificar mais adiante, o planeamento de um levantamento hidrográfico é um processo complexo que requer uma considerável atenção aos detalhes, uma abordagem flexível, boa administração e um processo efetivo de decisão. Se o planeamento for minucioso, existem boas hipóteses do levantamento ser bom também.

2.1. O projeto hidrográfico

Denomina-se por planeamento de um levantamento a todo o processo de desenvolvimento do projeto de levantamento desde o seu início, a subsequente atribuição a determinada unidade, o planeamento detalhado dentro dessa unidade de como efetuar o levantamento e a submissão final dos dados ao Serviço Hidrográfico.

Desta forma, o planeamento do levantamento deve ser um procedimento coerente que deverá conter as seguintes fases:

a) Requisitos para o levantamento.

b) Elaboração das especificações técnicas para o levantamento. (Incluir a revisão dos dados existentes.)

c) Designação da unidade executante.

d) Planeamento do programa dessa unidade.

e) Avaliação da tarefa por parte dessa unidade.

f) Requisitos do reconhecimento.

g) Distribuição dos recursos.

h) Planeamento detalhado do levantamento.

i) Estimativa da duração prevista para o levantamento.

j) Planeamento do programa final e sua aprovação.

k) Contactos com autoridades externas.

l) Planeamento administrativo.

m) Planeamento diário.

n) Planos de compilação e verificação dos dados.

o) Planos para entrega dos dados.

O desenvolvimento dos requisitos para o levantamento varia bastante de país para país. As especificações finais do levantamento são atribuídas a uma unidade designada para esse levantamento que é responsável pelo planeamento dos restantes requisitos. A “unidade designada” pode ser um navio governamental, empresas independentes a utilizar navios ou embarcações qualificados, ou uma empresa comercial contratada. Cada nação terá o seu próprio processo de planeamento.

2.2. Avaliação do levantamento

Antes de efetuar o planeamento detalhado, o hidrógrafo deve saber claramente qual o objetivo principal do levantamento, e quem será o usuário primário da informação. Regra geral o levantamento deve cumprir as necessidades imediatas dos usuários como também beneficiar outros.

Tendo estudado os requisitos do levantamento, dados adicionais e gráficos da área a ser levantada, o hidrógrafo tem de decidir primeiro se necessita de dados adicionais e propor quaisquer alterações que considere necessário para levar a cabo a tarefa.

Após a definição do tipo de dados básicos a serem recolhidos, escala e limites do levantamento, podem ser estabelecidas as principais tarefas do levantamento. As especificações do levantamento devem estar diretamente mencionadas nas especificações do trabalho, nas quais a chave é a Ordem do levantamento tal e qual como se encontra definido na Publicação S-44 da OHI.

Os pontos principais para avaliação da tarefa são:

a) Estabelecimento do controlo geodésico;

b) Método de controlo posicional e calibração das ajudas à navegação;

c) Critérios na escolha das sondas incluindo a política entre sondas;

d) Categoria do levantamento sonar;

e) Observações e dados relativos a marés;

f) Obstruções e destroços;

g) Amostras do fundo marinho;

h) Observações oceanográficas;

i) Observações de correntes de maré;

j) Observações geofísicas;

k) Linha de costa e topografia;

l) Luzes e bóias;

m) Vistas e caminhos recomendados (roteiros);

n) Rádio ajudas;

o) Observações auxiliares (fotografia vertical, escoadouros, distâncias medidas, linhas principais, magnetismo costeiro, fenómenos naturais, etc.);

p) Observações de passagem.

Dados existentes. O hidrógrafo deve ter acesso a cartas publicadas de maior escala e a todos os levantamentos anteriores juntamente com os seus relatórios finais (Rel. FT). Estes devem ser estudados de forma cuidadosa, em conjunção com a informação maregráfica, roteiros, fotografias aéreas e mapas topográficos.

Atribuição dos recursos. Tendo em consideração os pontos 2.2.5, e o estudo dos dados antigos, pode ser avaliada a dimensão do levantamento. O planeamento detalhado pode ser efetuado após a definição da dimensão do levantamento, mas a definição dos recursos necessários para cumprir a tarefa são definidos no estudo inicial. A lista seguinte mostra algumas das considerações que devem ser tidas em conta no planeamento dos recursos:

- Previsão meteorológica e do estado do mar. Estes fatores vão afetar a escolha do tamanho da embarcação a ser utilizada e a capacidade para efetuar trabalhos junto a costa e na investigação de perigos.

- Dimensão da área com águas pouco profundas. Este fator vai determinar a quantidade de trabalho da embarcação. O tempo necessário para completar a tarefa está altamente dependente do estado do mar se for necessário utilizar embarcações. Neste caso devem ser considerados conjuntamente os pontos 2.2.7.1 e 2.2.7.2.

- Utilização de helicópteros. A unidade poderá ter um helicóptero disponível, mas se não tiver será necessário um para ter acesso a locais remotos?

- Logística. A duração e os recursos utilizados pelo hidrógrafo ditarão as necessidades de água, combustível e capacidade de armazenamento. A manutenção dos equipamentos deve ser tida em conta.

- Mão-de-obra. O número e especialização do pessoal necessário para cada tarefa devem ser avaliados. Os seguintes fatores devem ser tidos em conta: mudança de pessoal; correio e comunicações; licenças e recreação; instalações médicas a bordo e em terra; apoio em terra e transportes; acomodações em terra e disposições monetárias.

- Topografia. Este fator vai ditar os recursos necessários para aceder a locais na costa.

- Acampamentos avançados – Um acampamento avançado pode ser necessário de acordo com as especificações do levantamento e neste caso a lista do planeamento dos recursos deverá ser seguida. No entanto, deve ser tido em conta a utilização de um porto ou de um fundeadouro para a embarcação que efetua trabalhos em águas pouco profundas e na investigação de perigos. O tempo gasto em içar e arriar embarcações é improdutivo.

Os constrangimentos prováveis na condução do levantamento também devem ser investigados. Devem ser investigadas outras causas que podem afetar o progresso do levantamento como: artes de pesca, constrangimentos impostos por perigos, áreas de exercício e de tiro, corredores de navegação e pontos de confluência de rotas.

Poderá ser necessário um reconhecimento do local para acelerar o levantamento. Ver secção 3.

2.3. Planeamento detalhado do levantamento

Uma vez avaliada a dimensão e extensão da tarefa e os recursos necessários para a levar a cabo tiverem sido decididos, pode-se dar início ao planeamento do levantamento. Várias atividades podem ser planeadas para ocorrerem simultaneamente e um bom hidrógrafo tentará reduzir o tempo total para conseguir efetuá-las. Uma lista abrangente das ações necessárias é fornecida nos parágrafos seguintes, mas deve-se ter em conta que cada levantamento é diferente e por isso podem ser adicionados ou retirados itens dessa lista.

2.4. Controlo Horizontal

As especificações do levantamento descreverão a referência horizontal para o levantamento e listarão detalhadamente as coordenadas das estações geodésicas em conjunção com as suas descrições:

Decidir qual a melhor forma para alcançar a exatidão para o controle horizontal detalhado nas especificações do levantamento. Em casos raros, pode não ser possível alcançar os requisitos utilizando as ajudas à navegação disponíveis e podem ser considerados relaxamentos a esses requisitos pelo Serviço Hidrográfico.

Uma vez escolhidas as ajudas à navegação, é necessário escolher as suas localizações. Pode ser utilizada qualquer sistema de análise de rede disponível. Decida a melhor forma de coordenar novas estações. Deve ser considerado o acesso a esses locais e qualquer exigência do reconhecimento. Notifique as autoridades necessárias para que lhe dêem as necessárias autorizações para aceder a determinados locais, a utilizar determinadas frequências e atracar embarcações e pousar os helicópteros. No caso de se utilizar métodos visuais fixos deverão ser incluídos os locais das marcas costeiras.

Decidir quando e onde é que as ajudas à navegação escolhidas devem ser calibradas e se necessitam de uma nova calibração durante o curso do levantamento.

A maioria dos levantamentos modernos utiliza alguma forma de GPS para efetuar o controlo dos trabalhos no mar ou em terra. Quando é utilizado o DGPS para controlo das embarcações este deve ser validado. Em terra, nos locais remotos, deve ser alcançado um posicionamento dos pontos na ordem dos 20 cm, desde que se tenha a possibilidade de transmitir em 24 horas os dados adquiridos para o Serviço Hidrográfico afim de serem comparados com o ITRF mais próximo do local. Caso contrário o estabelecimento de uma nova estação implicará a sua ligação a uma rede existente.

2.5. Controlo Vertical

As especificações do levantamento detalharão o *Datum* ao qual as sondas devem ser reduzidas e a sua relação com os *Data* existentes em terra, devendo ser providenciada uma lista das marcas de nivelamento existentes no local. O planeamento deverá conter os seguintes pontos:

Se não for mencionado nas especificações decida o local para observação das alturas de maré. Caso seja necessário, escolha os locais para estabelecimento de escala de marés e marégrafos adicionais e planeie a instalação e recuperação de marégrafos ao largo. Deve-se assegurar que os locais para medição de maré não fiquem a seco na baixa-mar, se não for possível evitar, devem ser estabelecidos marégrafos adicionais.

Decida qual a melhor forma de nivelar o marégrafo/escala de marés, relativamente ao *Datum* da carta, a partir das marcas de nivelamento existentes, por transferência do *Datum*, ou através de observações e análise. Caso estabeleça um *Datum* deve planear a sua ligação à rede geodésica através de um nivelamento.

Determine a natureza e amplitude da maré e o seu efeito no trabalho de campo. Na eventualidade de existirem marégrafos com possibilidade de ficarem a seco devem ser estabelecidos marégrafos adicionais de forma a permitir obter dados de maré durante todo o período do levantamento.

Decida se é necessário o ajustamento cotidal. Se for necessário, determine os fatores da maré a partir da tabela de marés e das cartas cotidais apropriadas, ou localmente através dos dados disponíveis. Se necessário procure aconselhamento do Serviço Hidrográfico.

2.6. Correntes de maré

Determine o valor máximo esperado e direção da corrente de maré na área do levantamento.

Determine os requisitos necessários para observação de um ciclo completo de corrente de maré e como podem ser conduzidas as observações.

Planeie observar e identificar quedas de água (cascatas, escoadouros), remoinhos e fontes de água doce presentes nas cartas.

2.7. Sondas

As seguintes considerações gerais devem ser consideradas durante o planeamento inicial:

Examinando as cartas de maior escala da área do levantamento e as pranchetas dos levantamentos anteriores devem ser localizadas as sondas críticas e efetuado um controlo das sondas de forma a preparar a comparação das sondas por sobre posicionamento.

Planeie o espaçamento das fiadas principais de sondagem, direção e velocidade de propagação do som na água. Se forem utilizados sistemas de feixe simples (SFS), as fiadas devem ser perpendiculares á direção geral de desenvolvimento da batimetria.

Planeie as fiadas de verificação, normalmente perpendiculares às fiadas principais de sondagem e planeie efetuá-las no início do levantamento como uma medida crucial para o controlo de qualidade.

Estime as variações espaciais ou temporais da velocidade de propagação do som na água e planeie a cobertura inicial do sensor de medição de velocidade (*probe*).

Estime o balanço de erros na sondagem e compare com as especificações do levantamento.

A velocidade da embarcação deve ser avaliada de acordo com a gama de profundidades esperada e o tipo de sonda utilizada. Para determinar a velocidade ótima e máxima de sondagem deve-se comparar a velocidade da embarcação com a velocidade requerida pelo sonar rebocado.

Durante o planeamento das fiadas de sondagem deve ser mantido uma lista de todas as fiadas planeadas.

Para planeamentos de levantamentos com feixe simples devem ser consideradas fiadas adicionais para dentro da isóbata dos 10 metros.) Devem ser efetuadas linhas adicionais paralelas a cais ou molhes.

Devem ser consideradas fiadas sobre caminhos recomendados, enfiamentos, ancoradouros e em locais de passagem de tráfego marítimo.

Se for utilizado um SFS junto a costa, deve ser dada especial atenção a profundidades < 40m onde deve ser detectada a menor profundidade em detrimento das características do fundo do mar. Devem ser efetuado um adensamento em fundos <40m, a não ser que o fundo do mar seja plano, sem estruturas e onde não existam perigos que possam ser detectados quando se efetuar cobertura completa com um sonar lateral rebocado de alta definição.

2.8. Sonar lateral

As seguintes considerações gerais devem ser consideradas durante o planeamento inicial:

As correntes de maré têm influência significativa na direção das fiadas quando se utilizam sistemas rebocados, é necessário frequentemente chegar a um compromisso entre as fiadas de sondagem e as fiadas efetuadas com sonar. Em alguns casos os dados batimétricos e os de sonar têm de ser adquiridos separadamente.

Verifique a lista dos destroços fornecida nas especificações do levantamento de forma a identificar aqueles que têm a sua posição aproximada, ou aqueles que necessitam de atenção especial ou de ser verificados efetuando buscas. Os limites da área de busca podem-se estender além dos limites da área do levantamento. Consultar o capítulo 6 da publicação S-44 da OHI.

Disponibilize a informação constante na lista de destroços e outros perigos e isóbatas nas pranchetas de planeamento das fiadas.

Quando se efetuam levantamentos com sonar rebocado nas proximidades de campos de petróleo, áreas de exploração, instalações submarinas e áreas nas quais decorrem operações de instalação de oleodutos deve-se dar um resguardo de 500 metros de forma a garantir a segurança do sonar.

As fiadas principais devem ser planeadas de forma a assegura uma direção até 20 graus da corrente predominante (maré ou corrente). Devem ser adotadas direções inferiores a 20 graus em áreas com fortes correntes de maré de forma a assegurar que o sonar rebocado navegue, o mais possível, na esteira do navio.

O espaçamento das fiadas com sonar deve ser de acordo com os requisitos do levantamento.

Assegure que qualquer área de busca localizada fora dos limites da área do levantamento se encontra coberta. Adicionalmente devem ser planeadas fiadas cujos limites se encontrem fora da área de forma a garantir a completa insonificação da área, com a respectiva sobreposição.

Sempre que a área do levantamento seja em águas restritas e inclua um canal, caminho recomendado ou enfiamento deve ser varrida por um sonar. Ao planear estas ações deve ter-se em conta os navios de maior dimensão que praticam estas zonas, com especial atenção às bacias de manobra e locais de mudança de rumo.

2.9. Amostras de fundo

As amostras de fundo devem ser obtidas a pedido ao longo de toda a área do levantamento. Consultar o ponto 4.2 da publicação S-44 da OHI.

As especificações do levantamento podem requerer a conservação de determinada percentagem das amostras obtidas. Este requisito deverá ser tido em conta no planeamento.

2.10. Delineação da linha de costa, objetos conspícuos e topografia

Os requisitos para o traçado da linha de costa e outra topografia serão definidos nas especificações do levantamento.

A linha da preia-mar representada em mapas nem sempre pode ser considerada para levantamentos hidrográficos.

Utilizando cartas ou quaisquer fotografias fornecida com as especificações do levantamento, dever-se-á identificar as áreas que já se encontram convenientemente cobertas e aquelas que necessitam de trabalho adicional. Em locais onde não existam cartas, mapas ou fotografia aérea, qualquer linha de costa e topografia que pode ser utilizada pelo navegante deve ser adquirida com precisão.

O hidrógrafo, deve tentar obter cópias adicionais de material que considere relevante tais como cartas, mapas e dados geodésico que não foram fornecidos com as especificações. Todos esses dados devem ser entregues ao Serviço Hidrográfico após o término do levantamento.

Determine os meios para delinear as áreas inadequadas e identifique quais os equipamentos necessários para definir as áreas de forma apropriada à escala do levantamento.

2.11. Observações Auxiliares

Observações Geofísicas. Nas especificações do levantamento devem vir especificadas quais as observações geofísicas requeridas. Normalmente, as observações magnéticas e gravitacionais podem ser efetuadas simultaneamente com a batimetria. As especificações deverão conter o espaçamento entre linhas de forma detalhada. Se houver anomalias magnéticas representadas na carta, planeie a sua observação e reporte-as. Planeie observações magnéticas em terra se pedidas nas especificações.

Luzes e Bóias. Esclareça quais as luzes visíveis na área do levantamento e planeie confirmar as suas características. Defina o número de bóias que necessitem determinação de posição (*fix*).

Fotografia Aérea. No caso de ser necessária fotografia aérea, o planeamento do voo deve ser efetuado em períodos com condições favoráveis de maré e tempo. As fotografias subsequentes podem ser utilizadas para topografia e traçado da linha de costa.

Roteiros e Vistas. As emendas aos roteiros normalmente podem ser compiladas no decorrer do levantamento e em princípio não será necessário tempo adicional para obter informação a ser

incluída. Planeie conferir todas as fotografias existentes e fotografe novas conforme solicitado nas especificações. Planeie verificar as facilidades portuárias e facilidades para embarcações pequenas.

Estações Rádio. Planeie verificar a exatidão das informações publicadas.

Molhes, cais e locais de atracação. Planeie verificar os detalhes dos molhes, cais e locais de atracação. Normalmente isto pode ser efetuado durante as operações de sondagem.

2.12. Organização da equipa do levantamento

O hidrógrafo responsável, prepara o Livro de Ordens do Levantamento, que contêm o plano geral, descriminando como será conduzido o levantamento e detalhando as responsabilidades pelo planeamento e execução do trabalho. Estas ordens devem ser atualizadas regularmente de forma a informar toda a equipa das prioridades imediatas e para fornecer a organização geral que vai dar origem ao planeamento diário detalhado. Quando o navio e as respectivas embarcações estiverem a trabalhar em conjunto numa base diária a atividade torna-se particularmente intensiva e complicada. Nestas condições é vital ter um plano bem elaborado e flexível para coordenar atividades de içar/arriar embarcações, mudanças de tripulação, aprovisionamento de alimentos e instruções para os encarregados dos trabalhos nas embarcações.

A escassez de mão-de-obra será sempre um problema no início do levantamento devido às diversas equipas de observações, de recolha de marés, tripulações e equipas de terra, etc. estarem empenhadas simultaneamente. Para um bom início do levantamento é fundamental uma boa capacidade de transporte terrestre e ou o uso de helicópteros.

A organização da ponte e da sala de trabalho deve ser cuidadosamente planeada e estruturada para assegurar que os dados são adquiridos e trabalhados da forma mais eficiente.

A pressão para aumentar a produtividade em todas as unidades do levantamento é considerável. Uma boa gestão, planeamento e liderança é fundamental para o sucesso do levantamento.

2.13. Compilação e Controlo de Dados

O Controlo de Qualidade deve estar presente em todas as fases do plano, com verificadores nomeados de forma a acompanhar os trabalhos vindouros.

Planeie a distribuição das tarefas de desenho e compilação. Assegure-se que são compilados e verificados registos claros à medida que o levantamento progride.

Num levantamento de grandes dimensões, é geralmente melhor completar todos os trabalhos numa área antes de prosseguir para outra área. Isto permite assegurar que os dados completos dessa área podem ser processados caso alguma unidade seja retirada do levantamento por qualquer motivo.

Pode ser conveniente distribuir a tarefa de registar determinadas secções e anexos do Relatório do Levantamento a certos indivíduos.

Quando possível, todas as cópias e registos devem ser compilados à medida que o levantamento progride e não deixadas para depois.

A comparação entre os dados do levantamento e os dados dos levantamentos antigos é bastante importante; esta comparação deve preceder o trabalho de campo para que o planeamento tenha em conta a necessidade de efetuar investigações adicionais e as buscas que podem surgir devido às diferenças entre os dados da carta e os do levantamento.

2.14. Requisitos para a entrega de dados

Os requisitos necessários para a entrega dos dados ao Serviço Hidrográfico variam bastante dependendo da política nacional e dos requisitos. Em geral deverá incluir:

a) Dados batimétricos em formato digital ou gráfico (prancheta final);

b) Dados de navegação em formato digital ou gráfico;

c) Dados sonar em formato digital ou gráfico;

d) Dados da textura do fundo marinho em formato digital ou gráfico;

e) Relatório do levantamento;

Os Serviço Hidrográficos devem avaliar os dados do levantamento entregues e efetuar um parecer crítico ao levantamento até dois meses após a recepção dos dados. Os pontos endereçados no parecer do Serviço Hidrográfico devem ser respondidos o mais brevemente possível enquanto o levantamento se encontra fresco na memória.

2.15. Desenvolvimento do programa de operações

O número total dos dias planeados para completar o levantamento deve ter em conta as exigências de escalas nos portos, manutenção dos navios, tempo nos trânsitos, exercícios, etc. Cada navio tem o seu ciclo operacional e com base nessa informação deve-se propor um ciclo de empenhamento da unidade. Se a estimativa do tempo necessário para realizar o levantamento não se integrar no período de tempo operacional previsto deve-se proceder à alteração do programa ou à redução das dimensões das tarefas a realizar.

2.16. Duração e estimativas de custo da operação

Não existem regras rígidas e rápidas para determinar rigorosamente o tempo requerido para completar um levantamento. Um hidrógrafo experiente pode obter uma ideia do tempo necessário após estudar as especificações do levantamento e chegar a uma boa estimativa sem recorrer a fórmulas matemáticas. No entanto, o formato providenciado no Apêndice 1 a este capítulo poderá fornecer uma resposta razoável e pode ser ajustada de acordo com as necessidades do levantamento. Durante o planeamento detalhado o hidrógrafo deve manter um registo total das milhas a percorrer, número de destroços a investigar, número de amostras de fundo requeridas, etc. Estes dados podem então ser usados para determinar o tempo necessário.

2.17. Ligação com autoridades externas

Logo que sejam recebidas as especificações do levantamento, deverá ser enviada informação para uma série de autoridades exteriores com detalhes das especificações e período do levantamento, juntamente com um pedido para utilização de determinadas facilidades se for caso disso. Posteriormente, uma vez efetuado o planeamento detalhado, se for considerado necessário poderá ser enviada informação com mais detalhes. Uma lista de exemplos é mostrada abaixo. As especificações do levantamento são frequentemente enviadas diretamente pelo Serviço Hidrográfico para um certo número de agências, e a folha de acompanhamento das especificações do levantamento deve indicar as organizações que já tenham sido informadas:

a) Autoridades piscatória;

b) Proprietários de terra locais;

c) Guarda costeira;

d) Autoridade dos faróis;

e) Forças de defesa locais;

f) Autoridade operacional de zonas de exercícios e de tiro;

g) Autoridade operacional de campos de petróleo;

h) Representantes do governo local;

i) Adidos navais;

j) Departamentos locais de levantamentos;

k) Autoridade operacional de helicópteros;

l) Autoridades religiosas.

Além disso, se algum destacamento embarcado desembarcar, utilizar uma facilidade portuária ou operar a partir dum porto local, também deverá ser considerado o seguinte:

a) Policia local;

b) Autoridade regional (Presidente da Câmara, da Junta de Freguesia…);

c) Autoridades portuárias;

d) Estabelecimentos de serviços locais.

Visitas de continuidade poderão ter de ser feitas durante o reconhecimento avançado ou à chegada.

Devem ser sempre consideradas implicações de segurança.

3. RECONHECIMENTO DO LEVANTAMENTO

3.1. Reconhecimento geral

Antes de qualquer levantamento é necessário efetuar o reconhecimento para obter dados que permitam efetuar melhor e mais economicamente o levantamento. As informações recolhidas devem servir para a concepção, planeamento, organização e observações da tarefa proposta. O reconhecimento pode ser realizado imediatamente antes do levantamento, ou com muitos meses de antecedência.

O reconhecimento é importante; um mau reconhecimento pode resultar mais tarde numa perda de tempo e de esforço, com a provável utilização de meios mais dispendiosos. Este deve ser completo pois um reconhecimento pobre vai inevitavelmente resultar num mau planeamento.

O hidrógrafo selecionado para efetuar o reconhecimento deve possuir experiência, senso comum, um conhecimento dos equipamentos disponíveis e não ter ideias preconcebidas sobre o método a ser utilizado para efetuar a tarefa. A recolha dos dados pode seguramente ser deixada para hidrógrafos com menos experiência, uma vez tomadas as decisões principais.

3.2. Reconhecimento geodésico

Os propósitos do reconhecimento podem ser resumidos da seguinte forma:

a) Estabelecer pessoalmente contactos locais;

b) Visitar todas as estações propostas – selecionar locais reais. Recuperar estações de controlo existentes;

c) Confirmar intervisibilidade;

d) Decidir o desenho final da rede (reanalisar se necessário);

e) Marcar permanentemente as estações geodésicas;

f) Descrever as estações geodésicas;

g) Testar a proposta do plano de observações (instrumentos / alvos necessários). Preparar o programa detalhado de observações;

h) Testar o plano administrativo para o levantamento principal, adaptando conforme necessário.

Para cada estação geodésica nova, é necessária a seguinte informação:

a) Acessibilidades por estrada, ferroviário, embarcação, a pé ou helicóptero. Tempo para acesso (por exemplo, a pé por estrada) e caminho recomendado;

b) Visibilidade a partir da estação e requisitos para posterior compensação;

c) Descrição da estação, azimutes magnéticos para outras estações visíveis;

d) Fotografias da estação, arredores e fotografias panorâmicas da estação;

e) Fatores locais, costumes, etc.;

f) Visibilidade e condições meteorológicas prováveis.

3.3. Reconhecimento das marés

Sempre que possível, é aconselhável a utilização de estações maregráficas estabelecidas ou anteriormente utilizadas pela uniformização de dados. Ao selecionar um local para estabelecer um marégrafo deve ser considerado o seguinte:

- Facilidade de edificação. Deve ser considerado um lugar onde seja fácil erguer uma escala de marés ou marégrafo, alguns locais são mais fáceis que outros, e alguns lugares são inacessíveis;

- A estação não deve ficar a seco. O zero da escala de maré e o sensor de pressão do marégrafo não devem ficar a seco. Se isso for inevitável uma escala de maré secundária e um marégrafo devem ser instalados a uma cota inferior do que o primeiro marégrafo;

- Facilidade de leitura. A escala de maré ou o marégrafo devem ser instalados de modo a que possa ser lidos a qualquer momento;

- Segurança. Evite situações em que a escala de marés ou o marégrafo seja susceptível de interferir com o publico, por exemplo atracação das embarcações de pesca;

- Abrigo. O sensor do marégrafo deve estar instalado num local protegido dos efeitos causados por condições meteorológicas e ondulação severas;

- Proteção. Idealmente, o registo do marégrafo deve ser colocado numa construção com fechadura;

- Água aprisionada. A água que se encontra restringida no seu movimento por um banco de areia ou bacia pode não estar ao mesmo nível que o mar aberto. Por conseguinte, deve ser selecionada uma estação que reflita o verdadeiro nível real do mar na zona do levantamento;

- Proximidade de marcas de nivelamento. Se possível selecione uma estação nas proximidades de duas marcas de nivelamento de forma a evitar o tempo gasto em longos nivelamentos;

- Acessibilidade. Se a leitura de maré for efetuada por um elemento, deverá ser providenciado alojamento nas proximidades. Se um pequeno destacamento for enviado com uma embarcação para operar a estação maregráfica, esta deve ser instalada nas proximidades do local de atracação ou perto da base desse destacamento.

4. AQUISIÇÃO DE DADOS

O aspecto mais importante duma carta náutica são as sondas representadas e o navegante deve poder confiar implicitamente na exatidão da batimetria para evitar situações de perigo. Deve ser tido o maior cuidado para garantir que as sondas são corretamente posicionadas. Um erro na posição é muitas vezes mais enganador do que um erro na profundidade, porque é mais provável que o navegante se afaste de um perigo representado na carta do que confiar na precisão da sonda e deliberadamente navegar sobre ele.

As disciplinas de monitorização dos erros das sondas, verificação de dados e Controle de Qualidade (CQ) são procedimentos contínuos que necessitam de ser mantidos ao longo de todo o levantamento hidrográfico. Do mesmo modo, a compilação do relatório final deve ser iniciada depois de concluída a fase de planeamento e deve ser ininterrupta durante as restantes fases do levantamento, e não deve ser deixada para o fim, depois de concluída a aquisição de dados.

4.1. Controlo Horizontal e Calibração

4.1.1. Introdução

As Especificações Técnicas (Especificações hidrográficas) determinam o *Datum* horizontal a ser utilizado no levantamento; se, após o planeamento e reconhecimento (parágrafo 2.4), as estações geodésicas coordenadas, estações secundárias, marcos geodésicos ou ajudas à navegação forem insuficientes então devem ser criadas marcas adicionais de controlo horizontal no interior da área e subáreas do levantamento de forma a alcançar o rigor requerido para o posicionamento no mar.

Os métodos selecionados para fornecer o posicionamento no mar irão ditar, em grande medida, os trabalhos preparatórios necessários em terra. Numerosas estações em terra podem ser necessárias para visadas em levantamentos de pequenas zonas nas proximidades da costa, enquanto que apenas duas estações locais podem ser exigidas para o mesmo levantamento com recurso a DGPS. Em ambos os casos, as estações devem estar localizadas o mais próximo da linha preia-mar tanto quanto possível, de forma minimizar os erros nos padrões eletromagnéticos causados pela variação das condições de propagação ao longo do trajeto por terra.

O posicionamento por satélite é capaz de alcançar elevadas precisões utilizando Técnicas de Posicionamento Relativo - GPS Diferencial com observações de pseudo-distância (DGPS) e o *Real Time Kinematic* (RTK) com observações da fase da portadora –- com uma única estação GPS de referência o que permite maior flexibilidade na seleção do local e no desdobramento das equipas do que no caso de utilização dos métodos terrestres.

As correções DGPS podem ser obtidas através do *Radio Beacon Navigation Service (Beacon-IALA*) e uma variedade de WAAS (*Wide Area Augmentation Systems*) através dos serviços comerciais (*Landstar, Seastar, Omnistar, Skyfix*, etc) e por serviço grátis (EGNOS).

Estes sistemas providenciam boas precisões no posicionamento sem a necessidade de uma estação de referência em terra, no entanto as calibrações do receptor GPS e o controlo em tempo real da geometria dos satélites (GDOP) deve ser realizada durante o levantamento.

4.1.2. Controlo Horizontal em terra

O controlo dos levantamentos na costa usualmente pode ser gerado através da extensão da rede geodésica nas proximidades. Na falta desta será necessário determinar a origem e posição do *Datum*, azimute e escala de forma a permitir que a nova estação possa ser referenciada em relação ás outras.

Devem ser empregues técnicas convencionais de topografia: (podem ser encontrados esclarecimentos detalhados no capítulo 2 com textos de referência indicados na bibliografia)

a) A determinação da posição absoluta do ponto de fixação do *Datum* (A);

b) A orientação da rede por observações azimutais (em A para B);

c) A determinação da escala por medições da linha base (de A para B);

d) A extensão da rede por poligonais, triangulação ou trilateração para as estações necessárias, com estações intermédias fixadas por visadas diretas ou indiretas.

As operações a., b. e c. só são requeridas quando não existem redes geodésicas estabelecidas. Isto raramente acontece; as técnicas de observações astronómicas ou de satélites GPS em terra, efetuadas para levantamentos geodésicos, estão para lá do âmbito deste manual.

As observações angulares são efetuadas por teodolitos ou sextantes e a distância medida por meios mecânicos, ópticos ou eletromagnéticos (EDM), ou por ambos com Estações Totais. Os cálculos subsequentes podem ser efetuados no esferóide de referência em termos de latitude e longitude, ou na quadrícula em coordenadas retangulares utilizando trigonometria plana.

As observações GPS realizadas com receptores de dupla frequência ou utilizando a técnica DGPS RTK, podem alcançar melhores precisões na determinação de uma linha de base (ver parágrafo 6.1 Capítulo 2), porém é conveniente lembrar que as coordenadas da posição obtida são referidas ao elipsóide WGS84 e a uma quadricula e projeção compatível. Se o levantamento hidrográfico for conduzido num *Datum* horizontal e vertical local, deve-se efetuar a transformação a partir do *Datum* WGS84 (ver parágrafo 2.2.3 Capítulo 2).

As precisões posicionais das marcas para pontos primários de controlo em terra e das estações secundárias são especificados na OHI S-44.

4.1.3. Controlo Horizontal no Mar

Descrição geral dos sistemas de posicionamento

Os métodos para posicionamento terrestre incluem técnicas tradicionais tais como:

a) Posicionamento por linhas de posição obtidas por sextante;

b) Posicionamento por triangulação/intersecção;

c) Métodos visuais de posicionamento;

d) Métodos de posicionamento por *tag line*;

e) Métodos de posicionamento por distância/azimute;

f) Sistemas de posicionamento eletrónicos estacionados em terra.

Desde o início dos anos 1990, a maior parte destes métodos de posicionamento terrestre foram em grande parte substituídos por sistemas de posicionamento por satélite: o GPS e GPS Diferencial (DGPS) com observações do código (Pseudo-distância) e o *Real Time Kinematic* (RTK) com observações da fase da portadora que permitem obter maior precisão. Nas áreas de projeto isoladas, onde os métodos de posicionamento por satélite GPS poderão ser inacessíveis ou impraticáveis, uma das técnicas tradicionais terrestre de levantamento poderá ser necessária para proporcionar o controlo horizontal do levantamento. Tais casos podem incluir, por exemplo:

a) Projetos de pequenas dragagens ou de construções de marinas onde só é requerida uma cobertura limitada de profundidades;

b) Áreas sob pontes, em cais de atracação de navios de grande calado ou perto de barragens onde a visibilidade dos satélites GPS é ocultada;

c) Projetos de baixo custo intermitentes onde as técnicas de posicionamento terrestres tradicionais podem-se revelar mais económicas comparativamente com um sistema DGPS totalmente automatizado;

d) Levantamentos de reconhecimento expeditos onde não é necessário obedecer a um determinado requisito de precisão posicional.

Para algumas destas técnicas de levantamentos terrestres, os métodos processuais e critérios de Controlo da Qualidade (CQ) são detalhados neste manual para fins de referência.

Precisão do Posicionamento Horizontal

Todos os métodos de posicionamento, resumidos no Apêndice 2 na tabela 7.1 "Sistemas de Posicionamento Horizontal e Critérios de Seleção", são capazes de satisfazer os padrões mínimos de precisão horizontal para uma específica Ordem de levantamento detalhada na OHI S-44, desde que as distâncias da embarcação aos sistemas de referência estacionados em terra estejam dentro dos limites operacionais dos sistemas. Os limites operacionais variam com o tipo de sistema de posicionamento, procedimentos utilizados e do ambiente em que está a ser utilizado. Em geral, a precisão posicional de todos os sistemas irá degradar-se em função da distância a partir do ponto base de referência, sendo que alguns se degradarão mais rapidamente do que outros. Os utilizadores devem plenamente aferir e avaliar a precisão resultante de qualquer método de posicionamento, incluindo DGPS, a fim de garantir a sua adequabilidade para o levantamento a ser realizado.

Seleção do Sistema de Posicionamento

As precisões previstas para os sistemas de posicionamento empregues em hidrografia são geralmente referenciados à utilização normal do equipamento dentro das suas limitações operacionais e das diferentes ordens de levantamento. A tabela 7.1 mostra os critérios de seleção e de emprego tendo em conta as ordens dos levantamentos hidrográficos, tal como definido pela OHI na publicação S-44, para os sistemas de posicionamento com a precisão posicional esperada. A adequação de uma determinada técnica a um determinado levantamento deve ser guiada pela autoridade competente tendo em conta estas limitações. A tabela pressupõe uma área de projeto padrão localizada dentro de 25 milhas da costa ou do ponto de referência em terra (controlo horizontal) ou até 200 metros de profundidade. Os critérios para a realização de levantamentos

dentro destes limites devem estar em conformidade com as normas contidas na OHI S-44 e neste Manual.

As exatidões comuns alcançadas com cada tipo de sistema são também indicadas neste e noutros manuais, incluindo os manuais de operador dos equipamentos; as variações extremas são o resultado de fatores discutidos noutras partes deste manual e nos capítulos relevantes dos referidos manuais dos equipamentos. Geralmente, a precisão máxima indicada é a que se pode esperar se o equipamento for empregue nos limites das condições normais de funcionamento. Em alguns casos, a gama de precisões abrange as prescritas para as Ordens Especial, 1 ª e 2 ª de levantamentos; isto indica que os fatores dependentes do projeto (geometria, distância a costa, etc.) devem ser considerados, a fim de selecionar os equipamentos mais adequados para uma determinada ordem de levantamento ou local do projeto.

Controlo das fiadas (*Track control*)

Os métodos realçados no parágrafo 4.1.3.2 providenciarão ao hidrógrafo uma posição no mar, além disso, o hidrógrafo deverá assegurar que o seu navio navegue na fiada desejada ao longo do leito do mar, corrigindo os efeitos das correntes de maré, correntes e efeitos do vento. Tendo em conta estes requisitos, o hidrógrafo deve ter em conta essas exigências no planeamento do controlo do posicionamento. O método de posicionamento escolhido providência muitas vezes também a informações da fiada, tal como o indicador de esquerda/direita exibido num dispositivo do sistema de posicionamento ou num monitor do sistema de aquisição e controle de dados automatizado. Porém, particularmente em trabalhos muito juntos, têm de ser fornecidas ajudas suplementares para providenciar o governo do navio.

Nos métodos visuais tradicionais ou nas antigas técnicas EPS, o registo da navegação do navio é mantida em tempo real manualmente ou por uma mesa de registo (*track plotter*) com os dados do levantamento sobrepostos após a sua redução na fase de pós-processamento. Neste caso, devem ser preparadas pranchetas com diversas sobreposições de forma a serem utilizadas para gerarem um registo do progresso do levantamento.

Qualquer que seja o método empregado terá um impacto no planeamento e execução do levantamento e deverá ser considerado desde o início no planeamento global.

4.1.4. Preparação do trabalho de campo

Descrição Geral

Um reconhecimento de campo na área do levantamento irá poupar tempo considerável durante a fase de recolha de dados. As posições das marcas selecionadas para o levantamento devem ser visitadas, confirmadas a sua adequabilidade e sua descrição. Após a chegada da equipa do levantamento ao local, os equipamentos terão de ser instalados em terra e no navio, os quais podem exigir verificações e calibração local.

Trabalhando no âmbito da estrutura de trabalho "estratégica" elaborada no Instituto Hidrográfico, o hidrógrafo responsável deve refinar o plano e, se necessário rever a mobilização de pessoal e equipamentos para otimizar a sua utilização no âmbito do projeto global. Os ajustamentos ao plano inicialmente acordado devem ser discutidos com o Instituto Hidrográfico e devem ser postos em prática métodos adequados para a monitorização do progresso e da consecução dos objetivos principais .

Planeamento das Observações

Todos os cuidados devem ser tomados quando se observa a estrutura da rede do sistema geodésico, Qualquer oportunidade deve ser aproveitada para controlar todas as observações e para detectar imprecisões nas técnicas de observação, observadores e equipamentos. Todos os cálculos

devem ser completados e verificados antes de se prosseguir com os trabalhos de campo dependentes da precisão das coordenadas derivadas das observações primárias.

O hidrógrafo deve identificar o melhor período de observações, utilizando um programa de planeamento da missão, a fim de alcançar os padrões para a ordem do levantamento. A seleção dos instrumentos deve ser tal que o tipo de observações e os padrões obtidos são adequados. Os dados das calibrações devem ser verificados e os detalhes registados para inclusão no Relatório do Levantamento.

Seleção do local

Na criação de uma rede, deve-se ter um considerável cuidado na seleção e densidade dos locais, na instalação das estações de referência e nas técnicas de medição de ângulos e distâncias, a fim de assegurar que a precisão no posicionamento necessária para a Ordem do levantamento é alcançada. O tipo de levantamento levado a cabo (portuário, aproximação, litoral ou costeiro), o sistema de posicionamento selecionados (visual / EDM / SPE / Satélite), o número do LOPs e a sua geometria na área do levantamento irá ter influência na decisão final.

A seleção do local deve-se basear no seguinte:

a) Acessibilidade do local por terra ou por mar;

b) Capacidade de ocupar a estação ou a necessidade de criar uma estação excêntrica;

c) Proximidade com a orla costeira ou com uma visão desimpedida do mar;

d) Intervisibilidade dos locais adjacentes, livre de estruturas susceptíveis de causar interferência com os sinais EDM / SPE e recepção desobstruída dos sinais dos satélites;

e) Disponibilidade de energia elétrica ou de espaço para instalar fontes de alimentação portáteis, tais como baterias/painéis solares e geradores;

f) Segurança do local e capacidade de deixar equipamentos sem vigilância;

g) Elevação do local e adequabilidade para o sistema de posicionamento escolhido.

Implantação e inspeção de estações de referência

Devem ser utilizadas listas de verificação, criadas pelo hidrógrafo responsável e baseadas nos manuais dos equipamentos, durante a instalação das estações terrestres de referência (SPE, ou DGPS RTK GPS) ou durante a utilização de instrumentos visuais / EDM para medição de ângulos/distâncias (sextante, teodolito, EDM, estação total) a fim de garantir a correta operação dos sistemas e que técnicas similares são usadas durante todo o levantamento.

O tipo de estações de referência empregues no terreno (SPE, DGPS ou GPS RTK) irá determinar a frequência das inspeções necessárias para verificar a sua correta operação; é também o caso das estações totais não monitorizadas que operam em modo automático.

4.1.5. Alinhamento e Calibração dos Sistemas de Posicionamento

Descrição Geral

O tipo de sistema ou ferramenta selecionada irá ditar os procedimentos adotados para verificar o seu desempenho tendo em consideração os limites previstos com o objetivo de alcançar a precisão posicional requerida para a Ordem do levantamento, tal como é expresso na Tabela 7.1.

Os procedimentos e técnicas de alinhamento / calibração, detalhadas no manual do utilizador (ou no manual do operador), devem ser sempre seguidos no início e no final de um levantamento ou quando tal for considerado necessário, a fim de verificar o desempenho do sistema no campo, especialmente se suspeitar do seu desempenho ou a exatidão. Estas verificações devem ser realizadas, na medida do possível, na área do levantamento e com os alcances esperados e comparados com um sistema calibrado de ordem superior ou ajuda à navegação, ou entre estações de controlo coordenadas. Todas as estações totais, sistemas EDM e prismas utilizados no controlo primário devem sofrer manutenções regulares, verificados com frequência ao longo de linhas de comprimento conhecido e terem as calibrações periódicas na fábrica atualizadas.

Medições de Ângulos

Deve-se assegurar que as técnicas de observação corretas para a sistemas de medição angular (sextantes, teodolitos, estações totais) são utilizadas e que os instrumentos são estabelecidos de forma a minimizar os erros. Os instrumentos devem ter as calibrações e manutenções em dia; os requisitos mínimos padrões (standard zero) para a ordem apropriada das observações devem ser sempre usados bem como técnicas especiais de gravação para evitar erros grosseiros.

Cada estação selecionada para uso deve ser visitada e cuidadosamente examinada e comparada com a descrição da estação. As distâncias aos pontos de referência fixos deverão ser confirmadas de forma a determinar se a marca da estação foi deslocada. Deve ser verificada a intervisibilidade das novas estações para a área do levantamento e outras estações, e ligada a 3 estações já estabelecidas. O uso de estações excêntricas deve evitado sempre que possível. Quaisquer alterações ao esquema de observações planeado devido à inadequação dos locais deve voltar a ser analisado a fim de garantir que os requisitos mínimos para a ordem do levantamento são alcançados. Todas as estações utilizadas devem ser marcadas e registada a sua descrição completa antes de serem observadas ou de serem utilizadas para observações.

Na determinação de alturas por medições angulares devem ser efetuadas, sempre que possível, medições recíprocas Antes de mover o instrumento de observação, deve-se verificar se os dados gravados das observações, tanto angular como a de distância, estão de acordo com os requisitos exigidos. Se os requisitos não forem cumpridos, deve-se efetuar novamente todo o conjunto de observações.

As observações angulares e de distância finais verificadas, devem ser ajustadas à rede conforme for adequado para cada tipo de observação, utilizando um programa de computador aprovado e, depois calculado a sua posição mais provável e elipse de erro. A elipse de erro de cada nova posição deve ser cuidadosamente examinada para determinar a qualidade da posição final. Análises de rede devem ser realizadas.

Medições de distâncias

Ao utilizar sistemas de medição de distâncias (EDM, EODM, estações totais, etc.), todos os procedimentos descritos nos manuais do operador/equipamentos devem ser seguidos e efetuada uma comparação de verificação com uma linha de base geodésica ou com um sistema com exatidão de uma ordem de grandeza superior ou igual à requerida pela ordem do levantamento para o posicionamento.

Medições a 2D

Tal como acontece com os sistemas de medição de distância, devem ser seguidas as orientações dos manuais do utilizador/equipamentos para sistemas de posicionamento a 2D, com calibrações apropriadas e comparação de verificação efetuados com sistemas de uma ordem de grandeza superior ou com linhas de base/rede geodésicas.

Ao planear a utilização de sistemas microondas EPF para validação de dados de posição GPS antes do início do levantamento, devem ser tomadas medidas para garantir que todas as estações são estabelecidas num *Datum* comum. Os sistemas de navegação devem ser calibrados e verificados por comparação com um sistema alternativo de posicionamento preciso no início de cada levantamento e validados no final.

Medições por Satélite (3D)

Ao utilizar sistemas por satélite GPS, devem ser seguidos com grande cuidado os procedimentos de observação articulados pelo Instituto Hidrográfico e detalhados nos manuais do utilizador, a fim de assegurar que o equipamento é operado na sua capacidade máxima para os diferentes modos de posicionamento disponíveis (SPS, PPS, Diferencial e RTK).

Todos os sistemas devem ser verificados antes do trabalho de campo e efetuada uma validação final aquando da realização duma sessão de observações com linhas de base geodésicas, rede geodésica de uma ordem de grandeza superior ou com um sistema com uma exatidão de uma ordem de grandeza superior ou igual à requerida pela ordem do levantamento

4.1.6. Métodos de Controlo Horizontal e Equipamentos

4.1.6.1. Posicionamento por intersecção de linhas de posição obtidas por sextante

Descrição Geral

O posicionamento por sextante envolve a observação simultânea de dois ângulos horizontais entre três objetos conhecidos a partir da qual a posição de um ponto no mar é obtida (ver figura 7.1). O posicionamento por sextante é totalmente realizada a bordo da embarcação utilizada no levantamento e não está dependente de eletrónica, comunicações, ou apoio terrestre. Em certas condições (ou seja, perto de alvos ou para posições estáticas quase fixas) o posicionamento pode ser relativamente preciso quando conduzido convenientemente por uma equipa experiente. Em geral, para a maioria das aplicações, o posicionamento por sextante num navio em movimento não é considerado suficientemente exato.

As marcas hidrográficas utilizadas para levantamentos controlados por sextantes podem ser localizadas por marcações por sextante (*sextant fix*) ou segmentos capazes. Os métodos transversos inferiores ao de 3 ordem podem ser utilizados, se a distância a uma estação base ou de controlo suplementar não exceder os 4 km para os levantamentos hidrográficos em escalas inferiores a 1: 10 000 ou 2 km para escalas de levantamentos superiores.

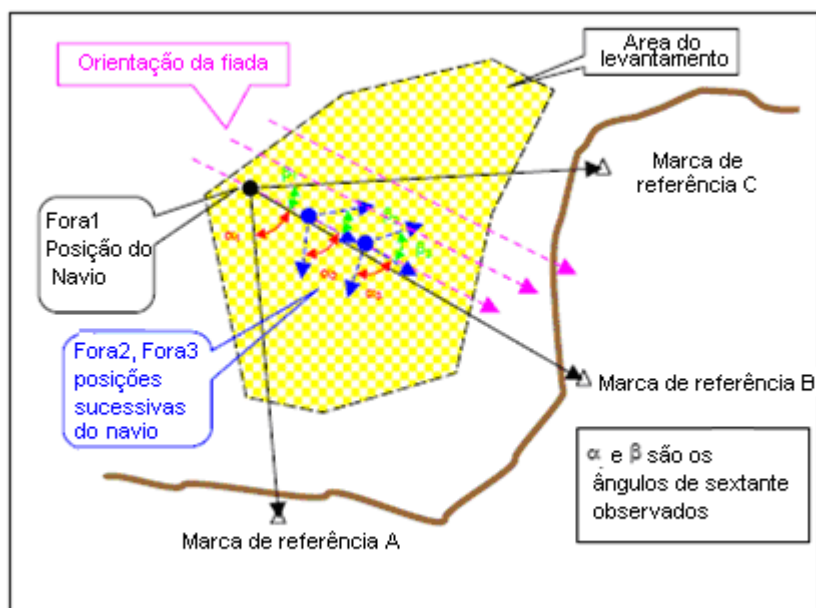



Figura 7.1 - "Posicionamento intersecção de linhas de posição obtidas por sextante"

Um único ângulo de sextante pode ser utilizado em conjunção com uma linha de posição (LDP) de distância fixa, como representado na Figura 7.2 (Posicionamento tipo *draga Hopper*). No passado era uma técnica comum para localizar dragas *Hopper*.

Em navios estáveis e outras plataformas, podem ser observados múltiplos ângulos de sextante para diversos alvos. A resultante pode ser ajustada por *software* de bordo utilizando técnicas de ajustamento por mínimos quadrados obtendo resultados bastantes precisos (menores de ± 1 m, em alguns casos isolados).

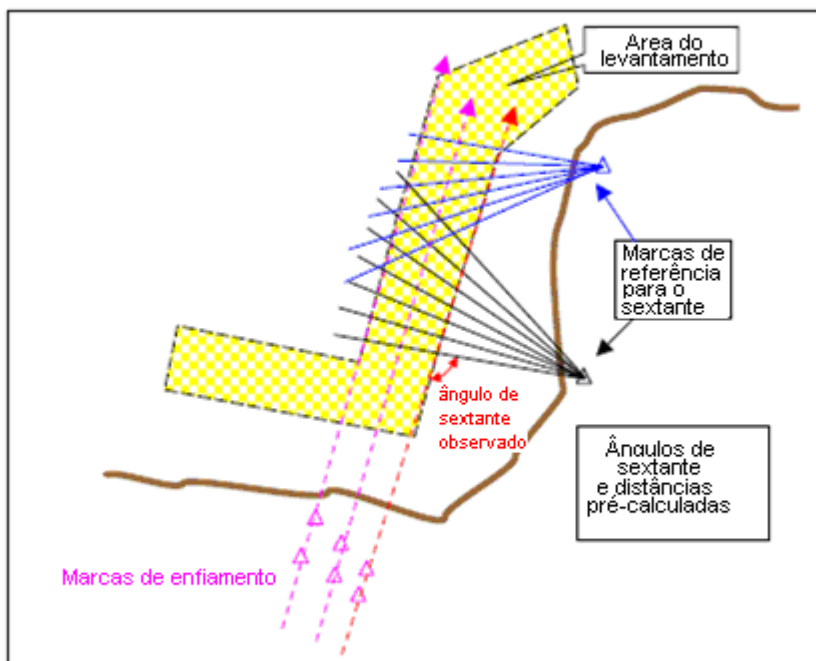



Figura 7.2 - "Posicionamento dragas *Hopper*"

Exatidão e Controlo de Qualidade

Os dois ângulos de sextante observados formam círculos de posição cuja intersecção se obtêm a posição do navio. Cada ângulo forma um círculo definido por três pontos: os dois pontos de controlo em terra/alvos e do navio. A geometria da intersecção destes dois círculos é um fator primordial na determinação da robustez da intersecção de linhas de posição de sextante. À medida que a intersecção dos dois círculos convergirem um no outro, a posição resultante enfraquece drasticamente. Nas melhores condições, a exatidão no posicionamento dinâmico raramente será melhor do que ± 5 m (95% RMS), a média das exatidões, em geral, anda nos 10 a 20 metros.

O método mais simples para estimar a exatidão da intersecção de linhas de posição em qualquer ponto é o de mover cada ângulo pelo valor estimado da sua exatidão e avaliar a consequente mudança de posição. Isto é facilmente efetuado quando utilizado um *software* automatizado para determinação da intersecção de linhas de posição, ou notando a mudança na posição no *station-pointer*. A exatidão posicional deve ser obtida em diversos pontos da área de trabalho. Na avaliação do desempenho da intersecção de linhas de posição por sextante os seguintes fatores do CQ devem ser considerados:

a) Precisão dos ângulos dos sextantes;

b) Sincronização do observador;

c) Movimento e velocidade do navio;

d) Fadiga e experiência do observador;

e) Tipo de alvos.

As calibrações internas do sextante, devido à sua concepção e manipulação, não são particularmente estáveis; desta forma os observadores devem verificar continuamente a calibração dos seus sextantes. Isto geralmente é feito periodicamente durante o levantamento, normalmente no final de cada fiada.

No posicionamento por sextante existem poucas oportunidades para executar a garantia de qualidade (GQ). Quando são visíveis mais de três alvos, as posições obtidas por intersecção de linhas de posição obtidas por sextante podem ser comparadas a partir de uma posição fundeada.

As medições de sextante efetuadas no limite de visibilidade das marcas são susceptíveis de serem fracas porque a variação angular ou a taxa de variação são pequenas. O sextante deve estar perfeitamente ajustado, a medição e leitura dos ângulos efetuada com extrema exatidão, se necessário com aproximação aos 30 segundos de arco. Se a soma dos dois ângulos se aproximar frequentemente dos 180º sendo um dos ângulos repetidamente muito grande e o outro muito pequeno, a taxa de variação angular será rápida quando a embarcação está em movimento; assim, deve-se observar especial cuidado para garantir observações simultâneas; os efeitos dos erros introduzidos causados pela falta de simultaneidade na observação angular são minimizados quando as distâncias do observador às marcas são pequenas.

4.1.6.2. Posicionamento por Triangulação/Intersecção

Descrição Geral

Um navio ou plataforma no mar pode ser posicionado (triangulado) por ângulos *Transit* ou teodolito observados de pontos da linha base em terra. Esta técnica pode ser empregue em áreas onde os sistemas eletrónicos de posicionamento não podem ser empregues ou onde for necessário aumentar a exatidão posicional. Conforme indicado na Figura 7.3, são necessários dois (ou mais) observadores *Transit* ou de teodolito estacionados em terra. A precisão posicional pode ser muito boa devido à maior precisão e estabilidade dos instrumentos. As estações teodolito devem satisfazer os requisitos de precisão para levantamentos de ordem especial e 1ª ordem. O ângulo de

intersecção no navio deve ser tal que um erro direcional de 1 minuto a partir de uma estação teodolito não irá provocar um erro na posição do navio maior que 1 mm na escala da sondagem. Normalmente, ângulos superiores a 30º e inferiores a 150º asseguram esta condição. As técnicas de triangulação são frequentemente utilizadas para complementar as medições eletrónicas de distâncias (EDM) ou posicionamento DGPS de estruturas costeiras fixas (molhes, pontes, plataformas, etc.), tanto durante a construção como no acompanhamento posterior das deformações.

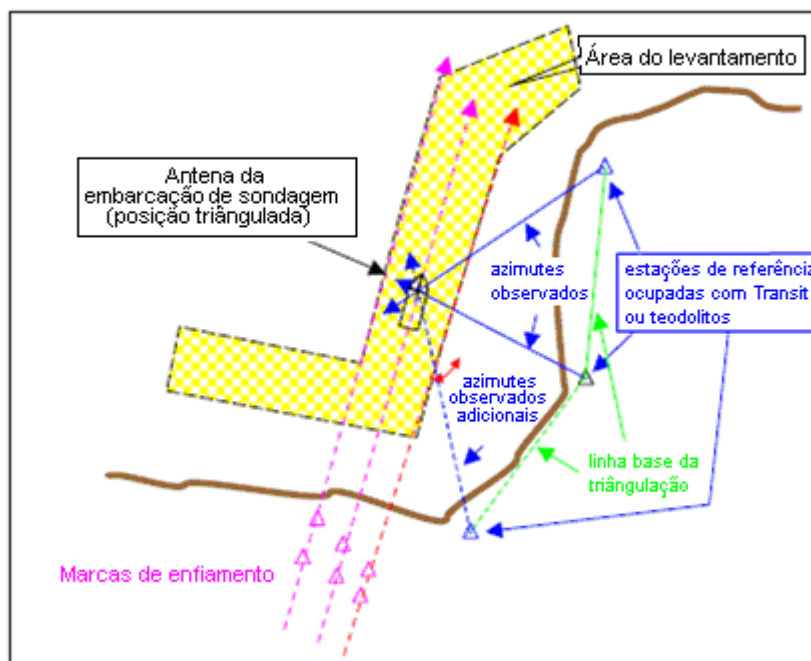



Figura 7.3 - "Posicionamento por Triangulação / Intersecção"

Exatidão

A exatidão posicional da triangulação/intersecção depende controlo de precisão do sistema utilizado. Está relacionada com a robustez geométrica da intersecção dos dois ângulos ou azimutes e varia ao longo da área do levantamento porque os padrões dos erros angulares para cada instrumento variam em função da distância entre o instrumento e o navio. A média dos erros padrão para cada medição angular na posição do navio no mar, juntamente com a distância calculada para cada ponto de referência observado, dá uma estimativa da exatidão posicional da triangulação/intersecção.

As técnicas de intersecção de múltiplos azimutes, que permitam três ou mais observações angulares adicionais, possibilitam o aumento da exatidão através da redundância fornecida pelas medições adicionais de outras estações em terra.

Muitas vezes os alinhamentos azimutais são combinados simultaneamente com distâncias EDM ou GPS e, se durante o levantamento for utilizada a aquisição automatizada, é efetuado um ajustamento por mínimos quadrados.

Controlo de Qualidade e Garantia da Qualidade

O CQ é realizado por medições periódicas para trás (*backsight*) no decurso do levantamento. Deve ser realizada GQ independente com um terceiro instrumento, o que não é fácil de executar na prática, sendo usualmente utilizando um sistema EDM ou GPS para fazer as verificações.

4.1.6.3. Posicionamento visual

Descrição Geral

Este método tradicional era muitas vezes utilizado para posicionar dragas relativamente a marcas em terra ou bandeiras e é ainda utilizado em algumas aplicações tais como no alinhamento horizontal e vertical para equipamentos de construção, plataformas, barcaças, etc.

Atualmente, as técnicas de posicionamento visual relativo raramente são utilizadas, dada a disponibilidade dos Sistemas de Posicionamento Eletrónicos (SPE) de microondas, métodos de posicionamento por azimute e distância e GPS. É geralmente indicado apenas para trabalhos de reconhecimento sem navegação onde a posição das marcas identificáveis (ajudas à navegação, faróis, marcadores diários, pontes e outras estruturas ou marcas mapeadas) fornecidas nos desenhos, cartas de navegação ou mapas é assumida como suficiente para os requisitos deste tipo de levantamento.

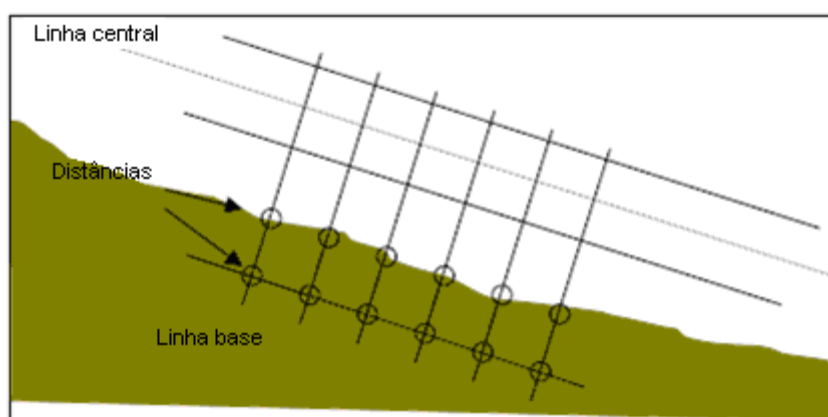



Figura 7.4 – "Estacas, bandeiras e/ou laser colocados em terra para posicionamento relativo"

Os pontos principais deste método são:

a) A embarcação mantém constante a velocidade de sondagem entre todos os objetos identificados ou intersecções de distância;

b) Os foras (*fixes*) são tirados sempre que o navio passar pelo través ou lateralmente por um objeto identificado;

c) As posições são interpoladas entre foras;

d) Entre foras a velocidade do navio é considerada constante e livre de erros;

e) A determinação da posição pode ser efetuada pela intersecção de pontos em terra e distâncias estabelecidas por avistamento dessas marcas;

f) Os resultados devem ser usados com precaução devido à natureza aproximada dos dados e as exatidões marginais deste tipo de levantamento.

Exatidão e Controlo de Qualidade

Quando se utilizam técnicas de posicionamento visual é difícil estimar a exatidão e raramente é efetuado o CQ.

4.1.6.4. Posicionamento por linha de distâncias (*tag line*)

Descrição Geral

Este método tradicional foi largamente utilizado antes dos anos 70 para monitorizar os processos de dragagem em projetos de navegação e levantamentos tradicionais às secções transversais dos canais, e em investigações de sub-superfície a obstruções de canais e levantamentos de varrimento para limpeza de canais. As técnicas de posicionamento por linha de distância foram substituídas pelos Sistemas de Posicionamento Eletrónicos (SPE) por microondas e por técnicas de azimute/distância que por sua vez foram substituídos pelos métodos de posicionamento GPS.

Dentro de certas distâncias da linha-base e com execução apropriada, um levantamento controlado por linha de distâncias é um método preciso e estável de realizar levantamentos hidrográficos e outros trabalhos de investigação marítimos:

a) É empregue um cabo metálico calibrado, esticado perpendicularmente a partir de um cabeço ou ancoradouro até á embarcação de sondagem;

b) É mantida próximo de áreas de atracação para trabalhos de investigação críticos; onde os sinais GPS são bloqueados (no entanto é preferível a utilização de uma estação total eletrónica);

c) Geralmente não requer aparelhos eletrónicos ou de comunicação.

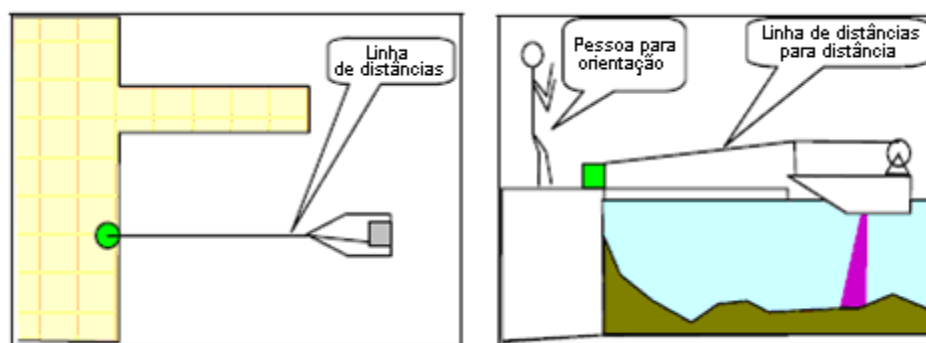



Figura 7.5 – "Levantamento com *Tag line*"

Técnicas

Um levantamento com linha de distâncias é um método de efetuar secções transversais a partir de uma linha-base fixa.

Podem ser executadas diversas técnicas, dependendo do tipo de operações e instrumentos utilizados:

a) Observações estáticas – as observações com linhas de distância são efetuadas quando a embarcação estiver corretamente alinhada na secção e o cabo é esticado de forma a minimizar a catenária;

b) Levantamento contínuo ou dinâmico com linhas de distância – alguns levantamentos com linhas de distância são conduzidos num modo dinâmico utilizando uma sonda de feixe simples analógica;

c) Métodos de extensão – as linhas de distância podem estar amarradas a uma embarcação flutuante (embarcação linha-base) que foi previamente posicionada com uma linha de distância ou outro meio;

d) Métodos de distância constante – a linha de distância pode ser usada para manter uma distância constante a partir do cabeço da linha-base;

e) Planeamento de levantamento linhas de distância com linha-base – os pontos de referência ou intermédios para controlar o trabalho com as linhas de distância são definidos utilizando os requisitos e os padrões para as técnicas de levantamentos para construções;

f) Métodos de alinhamento da linha de distância – são utilizadas bandeiras, prismas de ângulos direitos, *Transit*, teodolitos, sextantes e estações totais para manter o controlo do alinhamento lateral da embarcação de sondagem, que pode ser a parte mais fraca no desempenho do levantamento com linha de distância, especialmente quando estão presentes correntes fortes;

g) Procedimentos para gravação de dados – o levantamento com linhas de distância e as profundidades respectivas podem ser gravadas numa folha de registo ou num livro para levantamentos de campo. Os dados do levantamento são impressos quer em planos locais ou em secções específicas;

h) Embarcações de sondagem – qualquer tipo de embarcação de sondagem equipada com uma linha de distância manobrada por um homem ou por guinchos elétricos pode ser utilizada para efetuar este tipo de levantamentos. Geralmente, o comprimento das embarcações varia entre 5 a 8 metros e o calado é inferior a 0,40 metros o que se torna essencial para trabalhos em águas de profundidade reduzida e proporciona maior facilidade para encalhar na praia.

Requisitos de exatidão e calibração

Exatidão: a exatidão posicional de um ponto posicionado utilizando uma linha de distância pode ser calculado utilizando a exatidão estimada das medições de alinhamento e distância; semelhantemente ao efetuado para os métodos de levantamento com azimute/distância.

Calibração: os intervalos entre as graduações da linha devem ser calibrados periodicamente a cada 3 a 6 meses ou depois duma paragem comparando com uma corrente de medição ou um sistema EDM.

4.1.6.5. Posicionamento por distância/azimute

Descrição Geral

Esta técnica de posicionamento amplamente utilizada baseia-se na intersecção de medições de azimute e distância, geralmente realizados a partir de uma estação de referência em terra (ver a Figura 7.6). Hoje em dia este método só é empregue em situações onde o posicionamento GPS não pode ser utilizado devido à obstrução dos satélites. As principais características são:

a) Observações angulares (azimute) pode ser medido por *Transits*, teodolitos ou estações totais;

b) Observações de distâncias podem ser medidas por equipamentos SPE (laser ou EDM infra-vermelhos, SPE de microondas ou estações totais);

c) Os dados podem ser observados manualmente, anotados num caderno de campo e retransmitidos para a embarcação por dispositivos rádio ou gravados digitalmente e transmitidos para a embarcação via rádio modem;

d) Utilizado tipicamente a distâncias inferiores a 5 km da linha de costa e/ou da estação de referência;

e) Pode ser obtida elevada exatidão relativa dependendo dos equipamentos utilizados (melhores exatidões são obtidas por teodolitos automáticos/EDM ou estações totais);

f) Calibrações periódicas ou uma terceira LDP (ângulo ou distância) é essencial para redundância;

g) É necessária uma equipa pequena para efetuar o levantamento (eficiência relativa);

h) São utilizadas usualmente embarcações de 5 a 8 metros;

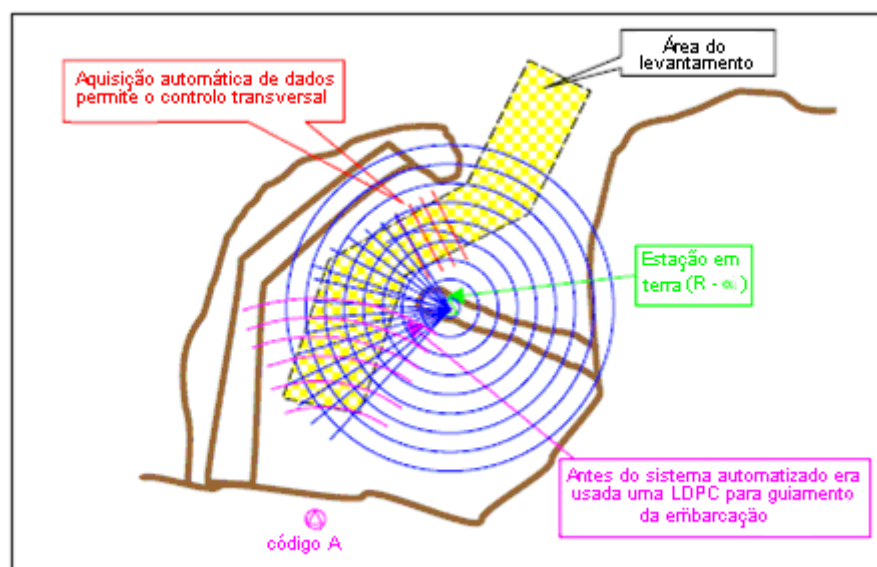



Figura 7.6 – “Posicionamento distância - azimute”

i) Teodolitos com laser ou EDM infra-vermelhos e estações totais são sistemas de distância/azimute de elevada exatidão para levantamentos para áreas de Ordem Especial num raio de 2 km do ponto de referência;

j) SPE de microondas irá raramente atingir os requisitos de exatidão para levantamentos de Ordem 1 (2 a 5 m);

k) Distâncias com estádia ou alidade dinâmica atingem os requisitos de exatidão posicional para levantamentos de Ordem1 (exatidão a 5 metros) num raio de 30-50 metros, dependendo das condições.

Requisitos e Procedimentos para o Controlo da Qualidade

Orientação angular:

a) O prato inferior do instrumento de seguimento deve ser referenciado inicialmente, relativamente ao projeto do levantamento, à grelha azimutal do *back sight* de referência (000º linha de visão);

b) Devem ser obtidas visadas adicionais de outras marcas em terra para obter orientações redundantes da referência;

c) Os controlos visíveis mais distantes e fiáveis, avistados e com os erros relativos resolvidos localmente, devem ser selecionados como pontos de orientação de referência;

d) Todas as medições de orientação e o cálculo dos azimutes da grelha devem ser registados no caderno de campo.

Verificações periódicas da orientação:

a) Devem ser realizadas durante o levantamento (normalmente a cada 20/30 foras ou 5/10 minutos ou no final de cada fiada) verificações periódicas da orientação inicial de referência (000° linha de visão) para garantir que nenhum desalinhamento horizontal ou vertical ocorreu com o instrumento;

b) Devem ser obtidas linhas de visão de referência adicionais (marcas em terra), normalmente efetuadas no início e no fim da sessão do levantamento;

c) Devem ser efetuados reajustamentos periódicos e re-nivelamento dos instrumentos como exigido após cada uma dessas verificações;

d) Todas as operações de verificações periódicas e re-nivelamento devem ser anotadas no livro de campo;

e) Se a verificação da orientação indicar um desalinhamento significativo, todos os foras efetuados desde a última verificação da orientação devem ser rejeitados e efetuados novas medições.

Verificações da garantia de qualidade:

a) Verificações de posição independentes estão raramente disponíveis como na maior parte dos métodos de posicionamento visual;

b) Técnicas de observação da fase da portadora RTK-DGPS permitem verificações independentes da posição, mas estas devem ser realizadas com receptores geodésicos em modo estático e no alcance topográfico (*topographic range field*);

c) Para levantamentos em áreas criticas para a navegação, as verificações do posicionamento devem ser efetuadas sempre com a embarcação de sondagem o mais próximo possível do ponto de controlo de referência.

4.1.6.6. Posicionamento Eletrónico

Descrição Geral

Foi desenvolvido uma variedade de sistemas, a maioria dos quais tornaram-se obsoletos desde que o GPS se tornou plenamente operacional. No entanto, os conceitos básicos de funcionamento dos Sistemas de Posicionamento Eletrónicos (SPE) baseados em terra e o posicionamento por trilateração (incluindo o GPS) não se alteraram significativamente.

Os sistemas de posicionamento baseados em terra (ou terrestre) utilizam técnicas das diferença em tempo e trilateração para determinar uma posição.

Sistemas de Posicionamento Eletrónico (SPE)

Em geral os SPE são classificados de acordo com a largura de banda ou as frequências de funcionamento (consultar tabela 7.2 do Apêndice 3 do Capítulo 7) que determina o alcance operacional e a exatidão, e a aplicabilidade de um determinado sistema a um tipo particular de trabalho. Em geral, quanto maior a frequência do sistema e quanto mais curto o comprimento de onda, maior exatidão é alcançada na posição determinada (consultar tabela 7.2 do Apêndice 3 do Capítulo 7).

Sistemas de Posicionamento Eletrónico de média frequência (RAYDIST/DECCA):

a) Os primeiros sistemas foram desenvolvidos em 1950, mas já não são utilizados;

b) Estes sistemas utilizam métodos de diferenciação em tempo/fase, resultando em malhas circulares ou hiperbólicas (diferenças de tempo);

c) Requerem calibrações repetidas para resolver as ambiguidades do comprimento de onda total (linha) e uma monitorização contínua durante todo o levantamento para resolver a linha e os saltos de ciclo, semelhantemente à determinação da ambiguidade inteira nos equipamentos GPS modernos;

d) A calibração local é necessária para manter a exatidão, mas em levantamentos longe de costa as calibrações eram impossíveis;

e) São utilizadas técnicas de posicionamento visuais para calibrar estes sistemas.

Sistemas de Posicionamento Eletrónico de baixa frequência (LORAN-C):

a) Principal sistema de navegação marítima e aérea por mais de 40 anos;

b) Sistema hiperbólico de diferença de tempo de baixa frequência;

c) Adequado apenas para a navegação geral ou levantamentos de reconhecimento (3ª Ordem quando calibrado);

d) Calibração diária nas proximidades do local ou no local é critica quando se quer manter a exatidão absoluta;

e) A exatidão posicional absoluta é de cerca de +450 metros (+0,25 milhas), na melhor das hipóteses, sem calibração local.

SPE distância - distância

Estes SPE de microondas (hiperbólica ou circular) foram introduzidos na década de 1970 e continuaram a ser o sistema de posicionamento principal até meados da década de 1990. A sua utilização diminuiu posteriormente quando as técnicas de GPS diferencial ficaram disponíveis para grandes áreas. Atualmente os SPE microondas (Distância/Distância) ainda estão em utilização em áreas onde a cobertura do sinal GPS é deficiente.

a) A trilateração é o processo efetuado pelos microondas de um SPE distância/distância na determinação das coordenadas pela intersecção das distâncias medidas a partir de dois (ou mais) pontos de controlo em terra:

   i. Uma Linha de Posição Circular (LDPC) é associada a um distância de cada estação em terra;

   ii. Cada par de LOPC dá origem a dois pontos de intersecção, que são as extremidades da linha que une os pontos das duas estações em terra;

iii. Cada SPE utiliza o seu próprio método para resolver as ambiguidades, pela orientação às coordenadas iniciais do ponto de referência ou referenciando a posição calculada relativamente ao azimute da linha base;

iv. As distâncias SPE eram inicialmente observadas e guiadas visualmente, efetuando-se o registo manual dos dados num livro de trabalho ou no livro de campo com marcação manual numa prancheta;

v. Os SPE modernos utilizam sistemas automáticos de aquisição de dados que gravam as distâncias e calculam as posições relativas, enviando subsequentemente os dados para um monitor ou uma impressora de seguimento;

vi. Atualmente os SPE e os sistemas GPS transmitem os dados brutos para um PC no qual um *software* de Controle e Aquisição de dados está a ser executado, com capacidade de sincronizar a posição e com os dados de profundidade em ficheiros de dados, enquanto efetua o CQ do posicionamento em tempo real e monitoriza a posição em diversas janelas selecionadas para o monitor do operador principal e do patrão da embarcação.

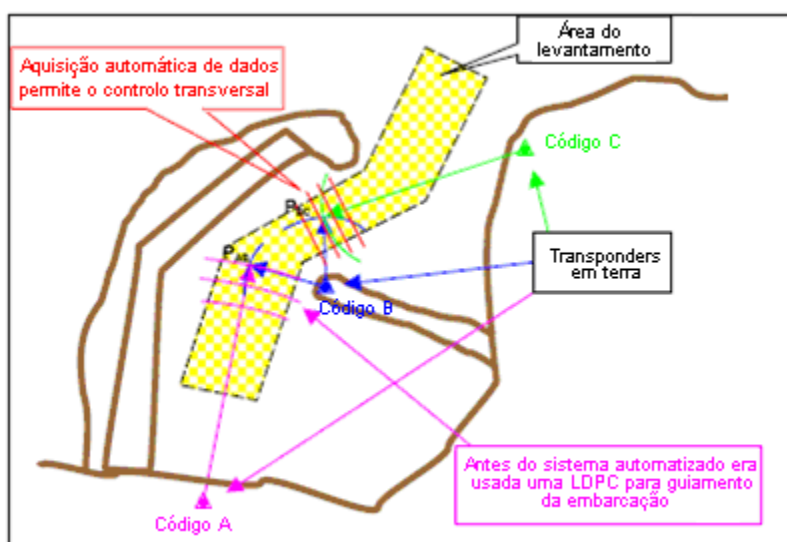



Figura 7.7 – "Intersecção de duas distâncias"

b) A monitorização constante da distância fornece uma boa capacidade de salvaguarda se alguma falha ocorrer no sistema automático de posicionamento e guiamento. Quando não estão disponíveis técnicas automáticas, a embarcação segue uma LDPC:

i. Mantendo uma distância constante a partir de uma estação referência;

ii. Marcando a distância de intersecção de outra estação de referência;

iii. Navegando a baixa velocidade, para produzir um posicionamento mais exato e facilitando a tarefa do patrão a seguir a as curvas de distância padrão;

iv. As fiadas são circulares, desalinhadas com o sistema de coordenadas do projeto e muitas vezes não são perpendiculares à batimetria.

c) Seguimento automático distância/distância:

i. As coordenadas derivadas da intersecção de distâncias são calculadas automaticamente a partir das coordenadas precisas da estação em terra;

ii. As coordenadas do ponto são transformadas de acordo com o alinhamento do sistema de coordenadas do projeto (*offset* da estação);

iii. Os indicadores analógicos/digitais de rumo e os indicadores direita/esquerda recebem os dados de posição, possibilitando a monitorização do afastamento transversal;

iv. Os foras são tirados manualmente pelo observador de um receptor ou impressora de seguimento, gravando as coordenadas num registo adequado;

v. A cada fora, a profundidade é marcada no papel da sonda analógica de feixe simples e o seu valor registado no livro adequado;

vi. A correlação entre a posição e a profundidade é efetuada durante a fase de pós-processamento;

vii. Os dados digitais de profundidade são correlacionados em tempo real com os dados posicionais, num *software* de aquisição, em intervalos regulares predefinidos.

Exatidão distância - distância

A exatidão da intersecção é uma função de dois fatores:

a) A exatidão nas medições das distâncias (ou desvio padrão σ);

b) O ângulo de intersecção que varia relativamente à linha-base, a exatidão da posição varia à medida que a embarcação varia a sua posição na área do levantamento.

Controlo da Qualidade

Os principais critérios a serem considerados no controlo da qualidade da exatidão em SPE com microondas são:

a) O ângulo de intersecção α tem uma grande influência na determinação da posição e deve estar compreendido entre os 45º e os 135º;

b) σ não é constante com a distância à estação em terra e geralmente é da ordem de grandeza de ± 3 m em vez dos ± 1 m ou 2 m declarados pelo fabricante para condições ideais ou com boa calibração;

c) A exatidão média posicional (σ ± 3 m) pode variar de 5 a 10 metros.

Posicionamento por Múltiplas Distâncias

Técnicas de posicionamento por múltiplas distâncias. (ie. Racal Micro Fix, Sercel Syledis, Motorola Falcon VI)

A posição é determinada a partir das coordenadas determinadas pela intersecção de três ou mais círculos de distâncias observados simultaneamente.

As LDPCs não se intersectam no mesmo ponto porque cada distância contém erros de observação:

a) Da observação de 3 distâncias obtêm-se três coordenadas diferentes e da observação de 4 distâncias obtém-se seis coordenadas diferentes;

b) Um ajustamento destas coordenadas dá a posição final que normalmente é feita *on-line* a cada ciclo utilizando geralmente a técnica dos mínimos quadrados ou pelo ângulo de intersecção mais forte ou por uma média não ponderada de todas as coordenadas da intersecção.

Os dados posicionais são depois transformados para um sistema específico de coordenadas de projeto conforme descrito para um sistema de duas distâncias:

a) A utilização de múltiplas distâncias minimiza as incertezas da posição da embarcação, que foram obtidas por um ajustamento destas distâncias à posição que melhor se ajusta; uma avaliação *on-line* da exatidão é alcançada mediante a avaliação dos resíduos da intersecção das LDPCs do posicionamento que contêm erros (consultar figura 7.8);

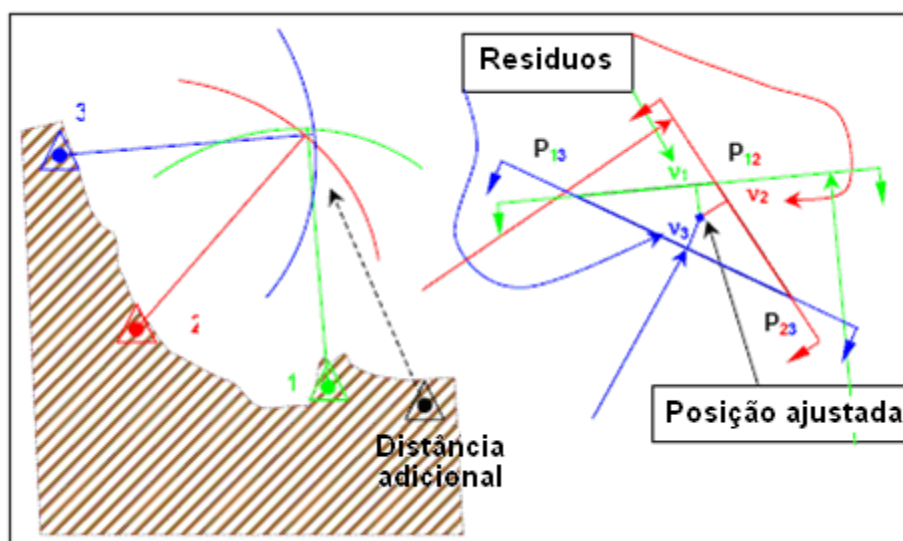



Figura 7.8 – "Intersecção de múltiplas LDPCs"

b) Uma avaliação da exatidão das medições de distâncias pode ser efetuada calculando os erros residuais (υ) para cada posição (um *software* automático, que utilize um ajustamento dos mínimos quadrados, pode providenciar uma estimativa da exatidão do erro médio quadrático posicional para cada posição atualizada);

c) Um SPE automático pode dar o alarme quando o erro médio quadrático exceder os limites prescritos, assumindo um erro padrão inicial constante na área do levantamento.

Calibrações e Controlo da Qualidade

As seguintes etapas básicas devem ser efetuadas no processo de calibração de um SPE com microondas:

a) Determinação da localização da antena do navio de forma independente;

b) Comparação das diferenças observadas entre as distâncias obtidas pelas microondas e as distâncias calculadas a partir de um sistema de medição independente (se observadas as distâncias diretas);

ou

c) Comparação das diferenças das coordenadas observadas pelas microondas e aqueles calculados a partir de um sistema independente;

d) Realização de uma série de calibrações independentes, a correção a ser aplicada no SPE é representada pela diferença média das distâncias e pode ser aplicada na consola ou armazenada no *software* de cálculo da posição.

Os sistemas e métodos empregues numa calibração independente podem incluir:

a) Calibração EDM – séries de leituras de distâncias EDM diretamente comparadas com as distâncias microondas observadas simultaneamente sendo as correções então aplicadas;

b) Calibrações da linha-base - o método mais simples de calibração de SPE com microondas EPS. A embarcação de sondagem é posicionada num ponto da linha-base entre duas estações em terra e as distâncias calculadas são comparadas com as observações de distância combinadas do sistema de microondas, as correções às distâncias são calculadas e aplicadas. Este método deve ser repetido em vários pontos sobre a linha de base e deve ser realizada entre todos os pares das estações em terra.

c) Calibração da estação total - as coordenadas observadas de um sistema de posicionamento automático podem ser diretamente comparadas com as coordenadas mais exatas obtidas por medições de uma estação total EDM;

d) Intersecção da triangulação - o método mais exato de calibração de sistemas de microondas é realizado num ambiente dinâmico. Três teodolitos são utilizados para calibração por triangulação de alta exatidão, uma série de 5 a 10 medições para a embarcação de sondagem em movimento. Para cada série de medições, as posições das triangulações são calculadas invertidas e convertidas em distâncias planares que são comparadas com as observações simultâneas efetuadas pelo sistema de microondas. Uma estimativa da validade estatística da diferença média nas distâncias deve ser calculada como anteriormente explicado;

e) Intersecção de linhas de posição obtidas por sextante - este método é válido somente quando a geometria da intersecção de linhas de posição é ideal, perto da linha de costa e com velocidade da embarcação reduzida. Um número simultâneo de ângulos de intersecção de linhas de posição (5 a 10) e de distâncias SPE de microondas são observados com três sextantes centrados nas proximidades da antena do SPE para minimizar os erros excêntricos. O cálculo da intersecção de linhas de posição deve ser efetuado com *software* adequado fornecendo uma indicação da qualidade dessa intersecção baseada na geometria e erro padrão estimado dos ângulos observados, para se decidir se é estatisticamente adequado aplicar uma correção média à distância.

f) Critérios gerais para o CQ dos SPE:

   i. A calibração estática não simula as condições dinâmicas nos levantamentos;

   ii. A calibração deve ser efetuada nas proximidades ou na área do levantamento, para simular o comportamento real na área do levantamento;

   iii. A exatidão dos procedimentos das calibrações independentes deve ser melhor ou no mínimo igual ao da calibração SPE com microondas;

   iv. Os efeitos residuais do multi-trajecto podem ser reduzidos mas não eliminados pelos procedimentos de calibração devido à localização e orientação da antena na embarcação de sondagem;

v. As calibrações dos SPE com pulsos de microondas só são válidos para o sistema de medição de distância utilizado;

vi. O sistema mais exato utilizado para calibrar o SPE deve também ser calibrado independentemente, ou verificado, para evitar erros grosseiros (GPS, estações totais, teodolitos, etc.);

vii. Os procedimentos de calibração devem ser consistentes durante todo o levantamento.

Alguns destes critérios básicos, descritos para calibrações de SPE, também são aplicáveis ás técnicas de posicionamento por GPS.

4.1.6.7. Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Descrição Geral

Durante a década de 1990 o Sistema de Posicionamento Global (GPS) tornou-se mundialmente o sistema de posicionamento e de navegação padrão e tem vindo a substituir quase todas as outras técnicas. Só em casos ao longo de zonas relativamente pequenas é que ocorre uma pobre cobertura dos satélites GPS. Nestes casos, os métodos tradicionais terrestres terão de ser empregues. Os sistemas de GPS diferencial permitem ampla cobertura mundial, e nem sempre requerem o emprego local de meios como os sistemas terrestres, no entanto uma calibração *à anteriori* e uma respectiva validação *à posteriori* continua a ser necessária. Neste momento as exatidões excedem as de qualquer outro sistema de posicionamento utilizado em levantamentos hidrográficos.

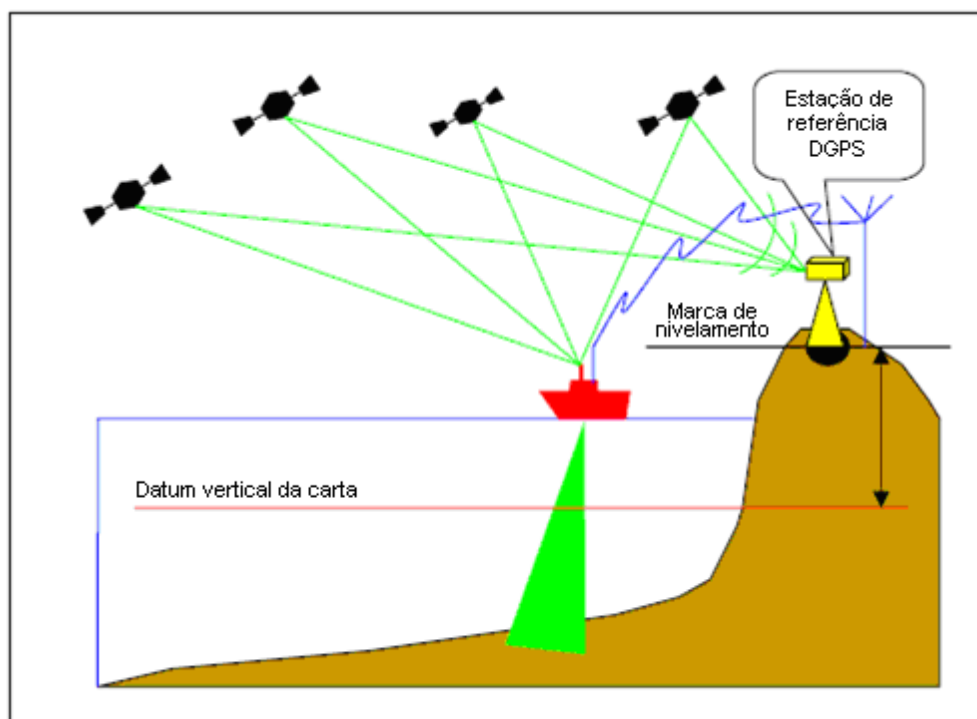



Figura 7.9 – "Posicionamento por GPS diferencial de uma embarcação de sondagem"

O sistema é composto por dois serviços de posicionamento absoluto, o Serviço de Posicionamento Padrão (*Standard Positioning Service* - SPS) e o Serviço de Posicionamento Preciso (*Precise Positioning Service* PPS):

a) O SPS está disponível para utilizadores civis, utiliza o código C/A na portadora L1, que providencia exatidões de 10-30 metros no modo de posicionamento absoluto;

b) O PPS foi desenvolvido para os militares dos E.U.A e outros usuários autorizados; utiliza o código P(Y) na portadora L1 e L2 providenciando uma exatidão absoluta de 5-15 metros no modo posicionamento absoluto.

Para muitas aplicações, o posicionamento absoluto não fornece exatidão suficiente. A técnica de GPS diferencial (DGPS) providencia o posicionamento relativo com uma exatidão de poucos metros utilizando medições do código da portadora até poucos milímetros com medições da fase da portadora. A técnica DGPS requer dois ou mais receptores GPS a gravar simultaneamente as medições e um *software* de processamento para reduzir ou eliminar os "erros comuns". Com um sistema de referência posicionado num ponto de controlo de coordenadas conhecidas, os dados DGPS podem ser utilizados para determinar as linha-base entre estações e estabelecer as posições de outros receptores no mesmo sistema de referência. O DGPS com medições de código (pseudo-distância) e fase de batimento da portadora. Quando utilizado em modo diferencial, pode servir para efetuar o seguimento em tempo real de plataformas em movimento, dragas, embarcações e navios de sondagem (consultar figura 7.9) e providenciar em tempo real exatidões requeridas para o posicionamento em levantamentos hidrográficos e/ou dragagens.

Técnicas de seguimento (consultar parágrafo 6.1.4.1 do Capítulo 2)

As técnicas de seguimento de fase são:

a) Seguimento da fase de batimento da portadora;

b) Seguimento do código da portadora.

Exatidões

As exatidões absolutas nas medições de distância e o desvio padrão alcançados com o sistema GPS depende de:

a) O tipo de código utilizado (C/A ou P);

b) O elipsóide tridimensional (3D) de confiança que descreve as incertezas nas três coordenadas geocêntricas, quando combinado com o GDOP dos satélites durante a determinação da posição;

c) O tempo e a localização da variação da geometria dos satélites.

As estatísticas da exatidão nominal de um utilizador GPS são definidas por técnicas de propagação dos erros. As exatidões das medições de distâncias pelos utilizadores referem-se a coordenadas geocêntricas, podendo ser transformadas para um *Datum* local, e para uma matriz 3D de co-variância, que define e avalia as dimensões (direção ou coordenadas) do elipsóide de erro no sistema de referência.

Os métodos mais utilizados para descrever as medidas de erro são listados a seguir:

a) Exatidões posicionais GPS a 2-D (horizontal) são normalmente estimadas utilizando a estatística do erro radial do erro médio quadrático (RMS);

b) A exatidão das medições 3-D do GPS é frequentemente expressa pelo *Spherical Error Probable*, ou SEP. Esta medida representa o raio de uma esfera com um grau de confiança ou de probabilidade de 50% . A medição do raio do esferóide só se aproxima

do elipsóide atual 3-D, representando as incertezas no sistema de coordenadas geocêntrico;

c) Para o posicionamento horizontal 2-D, é frequentemente usado o erro circular provável (*Circular Error Probable* - CEP) como medida do erro provável ou estatístico, representado pelo raio de um círculo com um grau de confiança ou de probabilidade de 50% na posição;

Comparação das Exatidões

É importante que a exatidão das medições GPS identifiquem claramente as estatísticas das quais derivam. Uma estatística de exatidão na ordem dos "20 metros" ou "5 metros" de precisão é inútil se não for identificado como sendo a 1-D, 2-D ou 3-D, juntamente com um grau de probabilidade associado. Além disso, a exatidão de um ponto GPS no posicionamento absoluto é definida em relação a um sistema de coordenadas/*Datum* geocêntrico. Este sistema de coordenadas difere significativamente do *Datum* local do projeto ou de construção. As exatidões nominais GPS também podem ser publicadas como padrão ou limites de tolerância, sendo que as exatidões reais alcançadas podem diferir significativamente destes valores.

Exatidão Relativa das Medições

Nos levantamentos hidrográficos realizados de acordo com os requisitos da OHI/S-44 a preocupação é a exatidão posicional absoluta (φ, λ, h) a nível mundial com um nível de confiança de 95%, mas normalmente os levantamentos realizados para fins de engenharia, construção e dragagem estão preocupados com as coordenadas do projeto local (*X*, *Y*, *h*), e com a manutenção de alta exatidão dentro do projeto de construção local. A medida da exatidão relativa é expressa normalmente em partes por milhão (ppm) como uma função da distância entre dois pontos ou receptores e geralmente é dado o nível de erro padrão a 1 sigma (ou desvio padrão a 68%).

Diluição da Precisão (*Dilution of Precision* - DOP)

Os erros GPS resultantes da configuração da geometria dos satélites pode ser expresso em termos de Diluição da Precisão (DOP), que é a robustez da configuração geométrica dos satélites observados durante a sessão. Em termos matemáticos, o DOP é uma quantidade escalar utilizada numa expressão de um rácio da exatidão posicional (ou do desvio-padrão de uma coordenada em relação à exatidão da medição). A DOP representa o contributo da geometria de um determinado escalar para a incerteza (ou seja, desvio-padrão) da medição GPS. Para o posicionamento a 2-D (horizontal) o fator é o HDOP.

***Datum* de Referência**

Em geral, os levantamentos com métodos diferenciais estão preocupados com as diferenças das coordenadas relativas, mas em posicionamento absoluto e para fins de navegação tem que se considerar as variações do sistema de referência global utilizados pelo *Navstar* GPS. Desta forma, as diferenças nas coordenadas GPS ou as transformações a partir do sistema de referência geodésico mundial 1984 (*World Geodetic System* - WGS 84) devem ser aplicadas a qualquer tipo de *Datum* de referência local. Na América do Norte as coordenadas em WGS84 estão altamente consistentes com o *Datum* Norte Americano 1983 (*North American Datum* 83 – NAD 83). O *European Terrestrial Reference Frame* (ETRF89) é uma realização do WGS 84 para o continente Europeu. Cada nação na Europa estabeleceu a sua própria transformação para ligar o ETRF aos *Data* locais.

Fontes de Erro (consultar parágrafo 6.1.3 do Capítulo 2) **e Requisitos de Calibração**

A exatidão do GPS é uma função dos erros, das interferências no sinal de GPS e nas técnicas de processamento utilizadas para reduzir e eliminar esses erros. Semelhante aos sistemas distância/distância de microondas, os sinais GPS são altamente afetados pela umidade e multi-trajecto. Erros adicionais são causados pelo trajeto do sinal de cerca de 20000 km através das camadas ionosfera e troposfera. Convém ter em conta que os sinais dos satélites podem ser alterados por razões de segurança nacional dos E.U.A. através da utilização do *Anti Spoofing* (AS). As técnicas diferenciais utilizadas na proximidades da estações de referência permite eliminar a maioria desses erros, porém quanto mais afastado da estação se opera, menor é a correlação entre os erros dos dois receptores.

As operações DGPS não têm requisitos de calibração prescritos (lista de verificação), ao contrário dos sistemas de microondas ou R/A Os erros grosseiros a serem verificados são:

a) *Datum* de projeto ou referência geodésica incorreta;

b) Coordenadas da estação de referência incorretas;

c) Medições das alturas das antenas incorretas;

d) O modo DGPS na unidade não selecionado;

e) O formato RTCM-104 de entrada e saída não selecionado.

Métodos de posicionamento

Em geral existem dois métodos de funcionamento, usados para obter posições GPS para controlo horizontal dinâmico, com uma variedade de aplicações para levantamentos hidrográficos no mar:

a) Posicionamento absoluto de pontos;

b) Posicionamento relativo (DGPS).

Geralmente o posicionamento absoluto de pontos envolve apenas um único receptor passivo e não é suficientemente exato para levantamentos precisos ou para cumprir os requisitos do posicionamento hidrográfico. No entanto, é o método de posicionamento GPS mais utilizado a nível militar (PPS) e comercial (SPS). O posicionamento relativo (diferencial) exige pelo menos dois receptores e pode providenciar exatidões requeridas para levantamentos em terra e posicionamento no mar.

Posicionamento absoluto de pontos (pseudo-distâncias)

O receptor GPS gera uma solução de navegação por pseudo-distâncias, medindo uma distância aproximada (pseudo-distância) entre a antena e o satélite pela correlação de um código transmitido pelo satélite e um código de referência criado pelo receptor, não são efetuadas correções dos erros de sincronização entre os relógios do transmissor e do receptor. A distância que o sinal percorre é igual à velocidade de transmissão do satélite multiplicado pelo tempo decorrido desde a sua transmissão. Atrasos adicionais (erros) que podem afetar a exatidão posicional, são causados pelas condições das camadas ionosférica e troposférica. Para criar uma posição GPS a 3-D, são necessárias pelo menos, quatro observações de pseudo-distância para resolver o erro sistemático do relógio (t) contido tanto no satélite como no receptor.

A solução das quatro equações de pseudo-distância contém quatro incógnitas (X, Y, Z e t.), fornece a solução para o posicionamento a 3-D de um ponto (para uma localização a 2-D são necessárias apenas três observações de pseudo-distâncias) e é altamente dependente das seguintes exatidões:

a) A exatidão das coordenadas conhecidas de cada satélite (ou seja, X_s, Y_S, e Z_s);

b) Exatidão do modelo de atraso atmosférico (d);

c) A exatidão na resolução do processo da medição do tempo real efetuado no receptor GPS (sincronização dos relógios, processamento de sinais, ruído do sinal, etc.);

d) A exatidão da posição absoluta de um ponto é uma função da exatidão na medição das distâncias e da geometria dos satélites (DOP).

Diluição da Precisão (DOP) é descrita como a contribuição da geometria para a incerteza numa determinada posição GPS e está relacionada com a orientação física dos satélites relativamente ao receptor em terra, juntamente com a exatidão na medição da distância.

Solução estática – como acontece em qualquer processo de medição, uma série de observações repetidas e redundantes aos satélites com diferentes orientações irão reforçar a exatidão e a fiabilidade posicional. No modo estático a antena GPS permanece imóvel, efetuando continuamente medições de distâncias a cada satélite ao longo das diferentes órbitas dos satélites. A alteração das órbitas dos satélites provoca mudanças na intersecção geométrica da posição ao longo da mesma posição no terreno. Além disso, as observações simultâneas de distâncias a inúmeros satélites podem ser ajustadas com técnicas de ponderação baseadas na força de intersecção e na fiabilidade das medições das pseudo-distâncias.

Solução dinâmica - No modo dinâmico em que a antena GPS está em movimento, as medições de distâncias a cada satélite são únicas devido à alteração da localização orbital dos satélites. A variação das órbitas dos satélites e a velocidade do navio provocam mudanças na intersecção geométrica da posição ao longo da posição da antena GPS.

O sistema de satélite NAVSTAR GPS fornece dois níveis de exatidão absoluta posicional:

a) Serviço de Posicionamento Padrão (SPS). O SPS é capaz de alcançar em tempo-real o posicionamento absoluto a 3-D na ordem dos 10-30 metros (grau de confiança a 95% na exatidão horizontal) O departamento de defesa dos E.U.A. implementou o *Anti-Spoofing* (AS), que troca o código P pelo código classificado Y, negando deste modo ao utilizador do SPS a utilização da maior exatidão do código P.

b) Serviço de Posicionamento Preciso (PPS). Os utilizadores civis do serviço PPS têm de ser autorizados pelo departamento de defesa dos E.U.A. de modo a terem um dispositivo de descodificação capaz de descodificar o sinal GPS encriptado. Esta autorização tem de ser obtida na Agência Nacional de Segurança (NSA). Os Corpos de Engenheiros dos E.U.A. (USACE) são utilizadores autorizados; no entanto, o atual emprego dos equipamentos acarretam implicações na segurança. Os utilizadores do PPS podem obter um SEP em tempo-real no posicionamento absoluto a 3-D na ordem dos 16 metros (ou 5-15 m a um grau de confiança a 95% na exatidão horizontal).

As ações de segurança do US DoD não têm impacto significativo numa operação hidrográfica se for utilizado o modo de posicionamento diferencial.

O posicionamento absoluto (SPS/PPS) só fornece exatidões absolutas posicionais em tempo-real e não satisfazem os requisitos da OHI/S-44 para levantamentos hidrográficos de Ordem Especial e Ordem 1. Não tem aplicações gerais e eventualmente será o substituto do LORAN-C e outros sistemas utilizados na navegação de navios e aeronaves.

Posicionamento Diferencial (DGPS)

A técnica de posicionamento diferencial é utilizada para posicionar um ponto relativamente a outro, ambas as estações receptoras observam simultaneamente os mesmos satélites. Como os erros na posição dos satélites (X_s, Y_s, e Z_s) e do atraso atmosférico estimado (d) são efetivamente os mesmos, eles podem ser ignorados em grande parte da sua extensão. Este método pode ser realizado através de medições de código ou da fase da portador e podem fornecer resultados em tempo real ou pós-processamento.

a) DGPS Seguimento do código da portadora. A técnica consiste em dois receptores GPS; um estabelecido sobre um ponto de coordenadas e outro deslocando-se de um ponto para ponto ou colocado numa embarcação de sondagem em movimento, efetuando medições de pseudo-distâncias a pelo menos quatro satélites comuns. Uma vez que as posições dos satélites são conhecidas e a posição de um dos receptores é conhecida, pode ser calculada uma "distância conhecida" para cada satélite observado. Essa "distância conhecida" pode ser então comparada com a " distância medida " (ou pseudo-distância), para obter uma Correção à Pseudo-distância (*Pseudo Range Correction* - PRC), que é calculado para cada um dos satélite monitorizado no ponto de coordenadas conhecidas. Cada PRC pode então ser aplicado ao receptor remoto ou em movimento para corrigir as distâncias medidas. A observação do código da portadora é a aplicação primária para o posicionamento em tempo-real com exatidões da ordem métrica. É suficiente para o posicionamento em levantamentos hidrográficos obedecendo aos requisitos da OHI S-44 para levantamentos de Ordem 1, uma vez que o posicionamento com esta exatidão é suficiente para a grande maioria dos levantamentos.

b) DGPS observação da fase da portadora. Esta é a técnica de levantamento GPS para posicionamento relativo entre dois receptores GPS (um de referência estabelecido num ponto de coordenadas conhecidas e um outro num local desconhecido ou a bordo de uma plataforma em movimento) mais exata e na ordem de grandeza dos dois a cinco partes por milhão (ppm). O método de monitorização utiliza uma fórmula semelhante à das pseudo-distâncias utilizadas nos sistemas de seguimento da fase do código da portadora descrita anteriormente, mas num processo mais complexo quando é efetuado o seguimento dos sinais da portadora. Devido ao curto comprimento de onda (19 cm) é adicionado um fator de ambiguidade às equações de soluções que corresponde ao desconhecimento do número de ciclos inteiros na medição da pseudo-distância. O seguimento da fase da portadora providencia uma resolução da distância mais exata devido ao curto comprimento de onda (19 cm) e à capacidade do receptor para resolver a fase da portadora em cerca de 2 mm. Este método é denominado cinemático em tempo-real ou RTK e providencia o posicionamento a 3-D com uma exatidão de poucos centímetros com alcances até cerca de 20 quilómetros. É aplicável ao posicionamento em levantamentos hidrográficos obedecendo aos requisitos da OHI S-44 para levantamentos de Ordem Especial e pode ser empregue em receptores estáticos ou cinemáticos.

c) Vantagens das medições de código (DGPS) em relação às medições de fase da portadora (RTK):

   i. Comprimento de onda são muito maiores que os comprimentos de onda da fase, eliminando os problema das ambiguidades.

d) Desvantagens das medições de código (DGPS) em relação às medições de fase da portadora (RTK):

   i. Longos comprimentos de onda decrescem a exatidão do sistema;

   ii. Longos comprimentos de onda são mais afetados pelo multi-trajecto.

Sistema de Posicionamento Dinâmico em Tempo-Real (Fase do código)

O sistema geralmente inclui:

a) Equipamento da estação de referência (*master*);

b) *Link* de comunicação;

c) Equipamento da estação móvel ou (*rover* ou *remote user*).

Existem diversos serviços DGPS que providenciam correções às pseudo-distâncias em tempo real:

a) Serviços de rádio balizas (Sistema de balizas IALA);

b) Serviços de satélite de subscrição comercial;

c) Serviços comerciais de rede DGPS instalados em terra (ligações telefónicas ou telemóveis);

d) Sistemas DGPS locais.

Os sistemas DGPS locais são normalmente instalados ou usados pela entidade responsável pelo levantamento em locais onde os serviços não providenciam suficiente cobertura ou exatidão requerida pelas especificações do levantamento.

Estação de Referência

A estação de referência consiste num receptor GPS, antena e um processador que:

a) É colocado numa estação de coordenadas conhecidas com uma visibilidade desimpedida do céu de pelo menos 10º acima do horizonte;

b) A antena GPS deve ser colocada livre de objetos que causem multi-trajecto ou interferência (evitar áreas com antenas, torres de microondas, linhas de alta tensão e superfícies refletoras);

c) Efetua medições do tempo e distância da informação transmitida pelos satélites;

d) Calcula, formata e transmite as correções à pseudo-distância (PRC), a cada 1 a 3 segundos, ao receptor móvel na embarcação ao largo via link de comunicação; o protocolo recomendado é o da *Radio Technical Commission for Maritime Service* (RTCM) *Special Committee* 104 versão 2.0;

e) Efetua funções de CQ determina a validade e a qualidade das PRC calculadas.

***Link* de Comunicação**

a) O *link* de comunicação é usado como um meio para transferir as correções diferenciais, o tipo é dependente dos requisitos do utilizador e a taxa mínima de transmissão deve ser pelo menos de 200 bps;

b) Os links de comunicação que operam a *Very High Frequency* (VHF), *Ultra High Frequency* (UHF) e *High Frequency* (HF) são sistemas viáveis para a transmissão das correções DGPS, com alcances de 20 a 50 km (VHF/UHF) e até 200 km (HF), dependendo das condições locais de propagação e da elevação do local. As desvantagens na utilização de links UHF e VHF são o alcance restringido ao horizonte visual e a interferência no sinal de ilhas, estruturas, edifícios, multi-trajecto e licenciamento;

c) Os links de comunicação requerem frequências de operação reservadas de forma a evitar interferências com outras atividades locais, todas as frequências necessitam de autorização de utilização nas áreas geográficas de responsabilidade de cada nação;

d) Diversas companhias oferecem subscrições para comunicações por satélite, sistemas de comunicação por telefone ou telemóvel, passíveis de ser utilizados para transmissão das PRCs;

e) Sistemas de comunicação por telefone ou satélite são menos limitados em alcance que os sistemas UHF/VHF mas normalmente são mais dispendiosos.

Equipamento do utilizador

Utilizando a tecnologia da pseudo-distância diferencial, a posição de uma embarcação de sondagem pode ser calculada relativamente à estação de referência com um receptor (equipamento do utilizador) que consiste num DGPS com seguimento do código da portadora em tempo real, antena e processador:

a) Deve ser receptor GPS do código C/A de frequência simples (L1) com multi-canais;

b) Ser capaz de receber as correções diferenciais do link de comunicação no formato RTCM SC-104 versão 2.0 e aplicar essas correções às pseudo-distâncias medidas;

c) A atualização do receptor deve ser de 1 a 3 segundos;

d) O formato de saída (output) do receptor móvel deve ser o NMEA-183 que é o formato mais utilizado como entrada (input) nos *softwares* utilizados em levantamentos hidrográficos;

e) Os equipamentos devem ser capazes de manter as tolerâncias na posição para velocidades de sondagem até 10 nós;

f) Os receptores não devem gerar desvios na posição durante as guinadas da embarcação devido a excesso de filtragem.

Distâncias de Separação

a) As correções diferenciais troposféricas e ionosféricas não são aplicadas atualmente nas soluções internas dos receptores GPS e estes erros contribuem para erros horizontais na posição, em média 0,7 km por cada 100km;

b) O tipo de link utilizado vai ser um fator limitativo na distância que separa a estação de referência e receptor móvel. A estação de referência pode ter de ser transportada de um ponto a outro de modo que os requisitos para a distância mínima sejam mantidos.

Geometria dos Satélites

A *Horizontal Dilution of Precision* (HDOP) é o componente geométrico crítico que:

a) Nos levantamentos de Ordem 1 e 2 HDOP <5;

b) Os 24 satélites GPS Block II mantêm um HDOP de aproximadamente 2 a 3 durante a maioria do tempo.

Outros serviços DGPS (Serviço de Rádio Balizas de Navegação e WAAS comercial)

Serviço de Rádio Balizas de Navegação

A principal função do Serviço de Rádio Balizas de Navegação é fornecer ajudas à navegação em águas navegáveis abrangidas pelo serviço, o objetivo é a de substituir os sistemas Loran-C e Ómega, que foram utilizadas como os principais sistemas de navegação para a navegação marítima ao largo, por uma cobertura total de GPS para o posicionamento com maior exatidão. Muitas nações têm comissionado sistemas de posicionamento em tempo real, para as suas zonas costeiras, rios e regiões de lagos, utilizando a tecnologia DGPS e de rádio balizas. Existe um desejo de outros governos marítimo para expandir a cobertura para todas as vias navegáveis ao largo e eventualmente ter cobertura mundial.

a) Montagem e configuração do sistema:

   i. Rádio baliza GPS:

      - Estações de referência geodésicas receptoras N.2 GPS L1/L2 com antenas geodésicas independentes para providenciar redundância e rádio baliza transmissora com antena de transmissão;

      - Receptores N.2 combinando L1 GPS/*Modulation Shift Key* (MSK) utilizados como monitores de integridade, cada um utilizando uma antena GPS independente e uma antena MSK *near-field passive loop*.

b) Localização:

   i. Os pontos de controlo geodésico da localização das antenas GPS das estações de referência são de coordenadas conhecidas baseados no ITRF [ou seja, ETRF (*European Terrestrial Reference Frame*) *Datum* para a Europa e NAD 83 (*North American Datum* de 1983) *Datum* para os E.U.A./Canadá];

   ii. As correções à pseudo-distância do código C/A são calculadas e transmitidas via rádio balizas marítimas;

   iii. O sistema a bordo dos navios consiste num receptor marítimo de rádio balizas e um receptor GPS (ou um receptor GPS/Rádio balizas integrado) com a capacidade de aceitar e aplicar as correções à pseudo-distância, com exatidões inferiores a 5 m dependente do tipo e qualidade receptor GPS utilizado, a distância da estação de referência e da geometria dos satélites.

c) Transmissão de dados (tipos de dados):

   i. As correções e outras informações são transmitidas utilizando o protocolo para a transmissão de dados da *Radio Tecnhical Commission for Maritime Services Special Committe* 104 (RTCM SC-104) versão 2.1;

   ii. Informação detalhada deste tipo de protocolo é explicada nos requisitos para a transmissão disponíveis pelo Serviço de Rádio Ajudas de cada nação;

   iii. São geradas correções para um número máximo de 9 satélites monitorizados pela estação de referência GPS com um ângulo mínimo de observação de 7,5º acima do horizonte. Se mais de 9 satélites estiverem acima dos 7,5º, as correções são efetuadas para os nove satélites com os maiores ângulos de elevação;

   iv. Os satélites abaixo de 7,5º são rejeitados devido à sua susceptibilidade do multi-trajecto e a descorrelação espacial;

v. As correções são normalmente transmitidas a uma taxa 100 ou 200 baud;

vi. Correções podem ser consideradas válidas para um período de 15 segundos após serem geradas;

vii. Utilizar correções com mais de 30 segundos de idade (após serem geradas), especialmente para o posicionamento de uma plataforma em movimento, pode causar saltos de posicionamento.

d) Disponibilidade e fiabilidade do sistema:

i. O sistema mantém uma disponibilidade de transmissão que ultrapassa 99,7% nas áreas de cobertura destinadas, assumindo uma constelação GPS saudável e completa;

ii. A disponibilidade do sinal, na maioria das áreas, será mais elevada devido à sobreposição das estações emissoras;

iii. Cada local está equipado com dois monitores de integridade (ou seja, um receptor GPS com uma rádio baliza MSK), que são montadas num ponto de coordenadas conhecidas, estes recebem as correções às pseudo-distâncias a partir desse local e calculam s sua posição e comparam com as coordenadas conhecidas para determinar se as correções se encontram dentro dos valores de tolerância esperados;

iv. As posições corrigidas calculadas pelos monitores de integridade são enviadas através de linhas telefónicas para as estações de monitorização e controlo, que notifica os utilizadores, através da mensagem *tipo 16* de quaisquer problemas com a rádio baliza até 10 segundos após ser detectada uma condição de valores de tolerância anormais.

e) Cobertura:

i. Um mapa de cobertura atualizado pode ser encontrado no site de internet do Serviço de Rádio Balizas de Navegação de cada nação participante, na secção DGPS.

f) Requisitos e equipamentos dos utilizadores:

i. Para receber e aplicar as correções de pseudo-distância geradas pela estação de referência, o utilizador necessita de ter um receptor de rádio balizas MSK com antena e pelo menos um receptor GPS da portadora L1 código C/A com antena ou uma opção mais dispendiosa: um receptor combinado rádio balizas MSK e GPS com uma antena combinada MSK.

O receptor MSK desmodula o sinal da estação de referência e, geralmente seleciona automaticamente a estação de referência com o sinal mais forte para monitorizar ou permite que o utilizador selecione uma estação de referência específica. Uma vez que a estação de referência só gera correções para os satélites acima de 7,5 ° elevação, os satélites observados pelo receptor GPS do utilizador abaixo de 7,5 ° elevação não serão corrigidos.

g) CQ nas verificações de tolerância e calibrações:

i. A maioria dos DGPS *augmentation systems* é capaz de fornecer exatidões sub-métricas a distâncias razoáveis da estação de referência mais próxima. Contudo,

se a distância aumentar os erros descorrelação espacial (devido a diferenças nas condições ionosféricas/troposféricas) podem induzir erros sistemáticos na posição;

ii. Normalmente em condições atmosféricas nominais, exatidões posicionais menores que 5 metros RMS (95%) podem ser alcançado a distâncias superiores a 200 milhas;

iii. De forma a confirmar que a tolerância na exatidão posicional é melhor que 5 m, um ponto de coordenadas conhecidas deve ser ocupado em modo estático nas proximidades da área do levantamento;

iv. Quando se utiliza o Serviço de Navegação Rádio balizas, devem ser observadas posições estáticas a partir de diferentes estações de rádio balizas de referência para averiguar se os erros sistemáticos na posição estão presentes. Na prática, a baliza mais próxima será normalmente a que tem menores erros;

v. Quando ocorrerem erros grandes ou ambíguos no posicionamento na área do levantamento, pode ser necessário criar uma rede local DGPS (código ou RTK), para efetuar a comparação das posições das balizas em modo estático;

vi. Um processo semelhante deve ser realizado quando se utiliza DGPS *Wide Area Augmentation Systems* comerciais (WAAS, GLONASS, EGNOS, GALILEO, MSAS, etc.).

Sistemas de Posicionamento Dinâmicos em Tempo Real RTK DGPS (medições de fase da portadora)

Generalidades

O DGPS com observação da fase da portadora é capaz de providenciar uma exatidão no posicionamento horizontal e vertical de ordem decimétrica numa embarcação em movimento numa área geográfica de 20 km. Esta tecnologia, conhecida como "*On The Fly*", pode fornecer em tempo real elevações das embarcações de sondagens.

As técnicas cinemáticas atuais permitem a resolução das ambiguidades enquanto o receptor se encontra em andamento e providência exatidões na ordem dos 2 a 5 cm. Este método de posicionamento por observação da fase da portadora é usualmente chamado de cinemático em tempo-real ou levantamento RTK.

O sistema de posicionamento cinemático em tempo real ou DGPS RTK baseia-se na tecnologia DGPS de observação da fase da portadora semelhante às técnicas cinemáticas atualmente utilizadas nos levantamentos geodésicos em modo estático onde é possível alcançar exatidões milimétricas. Os procedimentos RTK permitem o movimento de um receptor GPS após a resolução das ambiguidades inteiras (isto é, número inteiro de ciclos) entre os satélites e o receptor, tal como descrito no Capítulo 2.

Elevações exatas em tempo real (e profundidades relacionados à altura da antena GPS) podem ser obtidas diretamente sem observar dados de medição de marés, se for utilizado um sensor de movimentos adequado e ter sido realizado um modelo do *Datum* maregráfico (ver figura 7.10).

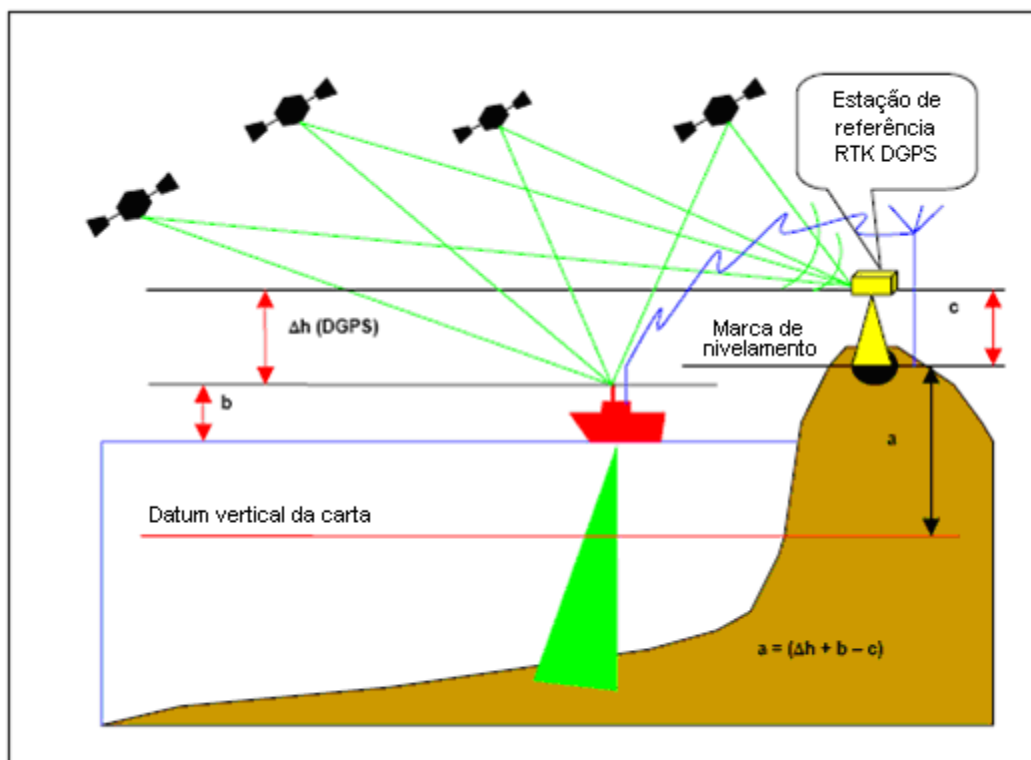



Figura 7.10 – "Princípios da determinação da elevação utilizando DGPS RTK"

Na determinação das elevações utilizando as técnicas DGPS RTK é obrigatório efetuar procedimentos de modelação do geóide - elipsóide e das marés, os quais devem ser realizados antes dos levantamentos RTK começarem.

Estação de Referência

Os sistemas de posicionamento de observação da fase da portadora são atualmente muito semelhantes ao de observação do código da portadora (pseudo-distância). A estação de referência GPS está situada em terra numa marca de coordenadas conhecidas e ligada ao referencial geodésico horizontal/vertical local. No entanto, a estação de referência deve ter a capacidade de recolher dados das pseudo-distâncias e da fase da portadora dos satélites GPS e será composta por:

a) Um receptor de dupla frequência de observação da fase da portadora capaz de receber a L1/L2 com técnicas de cruzamento de correlações durante o tempo de seguimento do código P encriptado;

b) Um receptor GPS móvel (*rover*) com os seus cabos e antena associados, processador de alta velocidade e um *link* de comunicação com uma taxa de atualização de pelo menos 1 segundo;

c) A localização será a mesma que para um sistema DGPS de monitorização do código da portadora;

d) O processador irá calcular as correções à pseudo-distância e fase da portadora e formatar os dados para serem enviados pelo *link* de comunicação;

e) As correções são formatadas no formato RTCM SC-104 versão 2.1 (CMR) para transmissão para o receptor móvel.

***Link* de comunicação**

a) Os sistemas de posicionamento de observação da fase da portadora exigem uma taxa mínima de dados de 4800 baud e diferem dos sistema DGPS de observação do código da portadora, que exigem uma taxa de transmissão de 300 baud, pelo volume de dados que têm de ser transmitidos;

b) A elevada taxa de dados limita a área de cobertura quando são utilizados sistemas de transmissão de alta-frequência;

c) Sistemas de comunicações com frequências VHF e UHF estão bem adaptados para essa taxa de dados

Equipamento do utilizador

O equipamento a ser utilizado na embarcação de sondagem é:

a) Um receptor de dupla frequência de observação da fase da portadora capaz de receber a L1/L2 com um processador integrado capaz de resolver as ambiguidades inteiras enquanto a embarcação tem seguimento;

b) Uma antena GPS geodésica associada capaz de reduzir os efeitos do multi-trajecto no sinal GPS;

c) Um *link* de comunicação para receber dados da estação de referência;

d) A taxa mínima de atualização da estação de referência para a embarcação deve ser 1 segundo;

e) O formato de saída do posicionamento DGPS por observação da fase da portadora (NMEA 183) deve permitir a navegação em tempo real e a gravação da posição verdadeira do navio necessária para o processamento do levantamento.

Os sistemas RTK não são projetados para serem utilizados em levantamentos com distâncias superiores a de 20 km da estação de referência.

Resolução das Ambiguidades

a) Deverá estar disponível na estação móvel (*rover*) posicionamento em 3D subdecimétrico em tempo real, se o sistema permanecer no modo RTK;

b) Tanto a estação de referência como os receptores móveis devem manter-se bloqueados (dados GPS contínuos) a pelo menos quatro satélites;

c) Se o número de satélites baixar de quatro, as ambiguidades voltarão a ser resolvidas depois de o sistema readquirir o bloqueio a um número suficiente de satélites, o sistema irá funcionar entretanto em modo DGPS ou Autónomo durante esse período.

4.2. Controlo Vertical e Calibração

4.2.1. Descrição Geral

O *Datum* ao qual as profundidades estão a ser reduzidas é fundamental para qualquer levantamento batimétrico e as Especificações Hidrográficas irão conter uma descrição pormenorizada da forma como este deverá ser estabelecido em conjunto com os detalhes das

marcas de nivelamento estabelecidas. Se o *Datum* não se encontra definido, deve ser utilizado na medida do possível o *Datum* da carta existente.

A necessidade de estabelecer um novo *Datum* ou transferir o *Datum* deve ser cuidadosamente considerada. Qualquer *Datum* novo ou transferido deve estar relacionado ao *Datum* local do levantamento através de marcas de nivelamento existentes ou recém-criadas, para as quais todos os detalhes devem ser registados e entregues ao Serviço Hidrográfico. Para levantamentos em rios e estuários fluviais é necessário um cuidado especial. Estão disponíveis orientações no *Admiralty Tidal Handbook* Volume 2.

Utilizando os dados fornecidos com a Especificações Hidrográficas, deve ser determinada a localização das estações maregráficas. Se for possível, ao repetir um levantamento a estação maregráfica deve ser instituída na posição da estação antiga. Se forem necessárias várias estações maregráficas a distância entre elas não deve ser muito grande e, em caso algum exceder os 10 quilómetros. As Especificações Hidrográficas darão orientações sobre a colocação de marégrafos ao largo.

Dados para auxiliar na criação de cartas cotidais serão incluídos na Especificações Hidrográficas. Deve ser produzida uma carta cotidal e co-amplitude conforme descrito no capítulo 5.

Devem ser instalados nos locais pretendidos as escalas de maré e os marégrafos pré-calibrados. As escalas de maré devem estar ligadas ao *Datum* da sondagem através de um nivelamento e devem ser instaladas marcas de nivelamento como um futuro meio de visualização rápida para aferir a integridade das escalas de marés. Se, por qualquer razão, não existir nenhuma marca de nivelamento disponível devem ser estabelecidas pelo menos 2 marcas e os seus detalhes registados integralmente.

Devem ser efetuadas comparações das leituras da escala de marés e do marégrafo durante um período de 25 horas tanto para estabelecer o *Datum* da sondagem como para assegurar a correta operação. Posteriormente, devem ser efetuadas verificações em intervalos regulares durante o levantamento.

O cálculo do Nível Médio do Mar (NM) deve ser realizado no início e no final do levantamento, utilizando 39 horas de observação. Devido ás influências atmosféricas e climáticas diárias, os resultados devem estar +/- 0,3 metros do NM citado na Tabela de Marés, o que irá proporcionar maior confiança nos dados de marés observados.

Quando é utilizado um marégrafo estabelecido, os parâmetros devem ser independentemente controlados de forma a verificar que o zero corresponde ao valor indicado.

Os dados de maré observados devem ser inspecionados diariamente para garantir que as observações satisfazem os requisitos das Especificações Hidrográficas. Sempre que possível, devem ser obtidas leituras continuas de maré durante o levantamento. Caso não sejam obtidas leituras contínuas, devem ser tomados cuidados no início e no final de cada período de sondagem com as diferenças em tempo cotidais de forma a garantir que os dados de marés abrangem o período de sondagem.

4.2.2. Modelação da Maré para Levantamentos RTK

A área do levantamento deve ter um *Datum* maregráfico suficientemente detalhado de forma a satisfazer as exigências do projeto a ser empreendido. A razão para estabelecer um *Datum* maregráfico na área do levantamento é atualizar o conhecimento do *Chart Datum* e para permitir aplicar a tecnologia DGPS RTK e efetuar o levantamento sem utilizar marégrafos.

Os principais requisitos são:

a) Efetuar levantamento estático GPS na área selecionada;

b) Instalar suficientes marégrafos na área de forma a obter detalhes do *Datum* maregráfico nesses locais, detalhes esses obtidos durante longos períodos de observação;

c) Realizar medições GPS das marés na área do levantamento para obter um conjunto de dados de maré GPS das alturas de água de forma a serem comparados com as medições dos marégrafos;

d) Fundear uma embarcação, equipada com um receptor RTK móvel por períodos de 25 horas, em determinados locais de forma a gerar pontos intermédios na área do levantamento, para permitir a correlação entre os métodos convencionais (marégrafos) e o método GPS e para verificar quaisquer alterações nas alturas elipsoidais entre as estações RTK e os marégrafos em terra durante um ciclo completo de marés de 28 dias;

e) A utilização de *software* com configurações adequadas que permitam introduzir os valores de separação do elipsóide e o *Datum* vertical para ser usado nos cálculos das alturas de maré a partir da linha de água da embarcação de sondagem.

Toda a área do projeto tem estar relacionada com as medições de maré relativas ao marégrafo mais próximo usado para medir a Baixa-Mar Inferior média (MLLW) para a área, também é necessário um *Datum* maregráfico de referência para incorporar as medições de maré realizadas na área do levantamento. O elipsóide de referência GPS e o *Datum* vertical local devem ser usados ao longo de toda a área do levantamento.

Diagramas do *Datum* maregráfico

Existem dois tipos diferentes de dados de marés que se podem alcançar:

a) O relacionamento tradicional das marés para a área é representado pela Baixa-Mar Inferior média (MLLW) em relação ao *Datum* vertical local, que deve fornecer o MLLW de referência com uma tolerância aceitável (padrão S-44) e deve ser teoricamente paralelo à superfície de referência geodésica local na ausência de correntes;

b) Um diagrama do *Datum* elipsoidal maregráfico para a área é representado pela superfície cinemática GPS maregráfica da Baixa-Mar Inferior média (MLLW) obtida a partir dos valores da altura elipsoidal.

Os valores da superfície de alturas elipsoidais e da estação de referência GPS usada para medir a separação entre o elipsóide - Baixa-Mar Inferior média (MLLW) permite efetuar levantamentos hidrográficos com GPS em modo cinemático sem a utilização de um marégrafo.

Localização da Estação de Referência GPS

Uma estação de referência GPS permanente (Figura 7.11) deve estar localizada nas proximidades da linha de costa para levantamentos hidrográficos em portos e áreas de aproximação a canais. A altura da antena $\mathbf{h_1}$ em metros (negativa) deve ser inserida no receptor GPS durante o levantamento hidrográfico com GPS. Se a antena da estação de referência é movimentada, o valor introduzido deixa de ser válido. Se a antena tem de ser movida, a diferença vertical $\mathbf{\Delta H}$ entre a parte inferior da antena de referência e a marca de nivelamento de referência deve ser medida novamente e confirmar que a marca de nivelamento (altura elipsoidal $\mathbf{h_2}$ em metros) se encontra abaixo do elipsóide. Devem ser efetuados nivelamentos a partir da marca de nivelamento até à antiga e nova localização da antena.

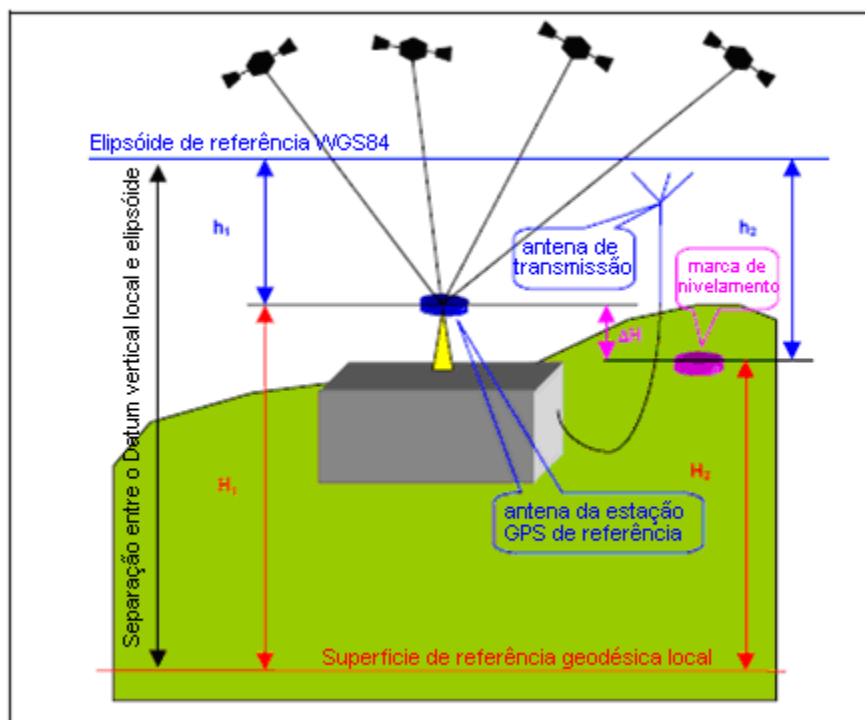



Figura 7.11 – "Parâmetros da estação de referência DGPS RTK"

h_1 = altura elipsoidal da antena GPS abaixo da superfície do elipsóide WGS 84

h_2 = altura elipsoidal da marca de nivelamento abaixo da superfície do elipsóide WGS 84

H_1 = altura ortométrica da antena de GPS acima da superfície Local de referência Geodésica (VD)

H_2 = altura ortométrica da marca de nivelamento da superfície Local de referência Geodésica (VD)

ΔH = diferença vertical entre a base da antena GPS e a marca de nivelamento de referência medido através de nivelamento geométrico.

Exatidão resultante das elevações com DGPS RTK

A exatidão absoluta resultante no projeto é estimada ser inferior a 10 cm. A exatidão absoluta refere-se à MLLW em relação ao *Datum* Geodésico Vertical Local de referência. Para o levantamento deverá ser tentado um projeto local de modelação da separação do elipsóide - geóide. Um programa de computador adequado deve ser utilizado de forma a introduzir as posições horizontais adquiridas no levantamento para calcular as separações entre a referência geodésica Local/elipsóide WGS 84.

Medições RTK no Mar

A medição vertical mais importante a ser efetuada na embarcação de sondagem é a distância entre a linha de água e a antena GPS. Em condições estáticas, a medição é a ilustrada na figura 7.12. Com o decurso do movimento da embarcação na água, esta figura sofrerá algumas alterações, no entanto no sistema de sondagem o caimento dinâmico da embarcação não é introduzido como uma correção tal como a imersão do transdutor que é reduzida do mesmo valor que a altura da antena.

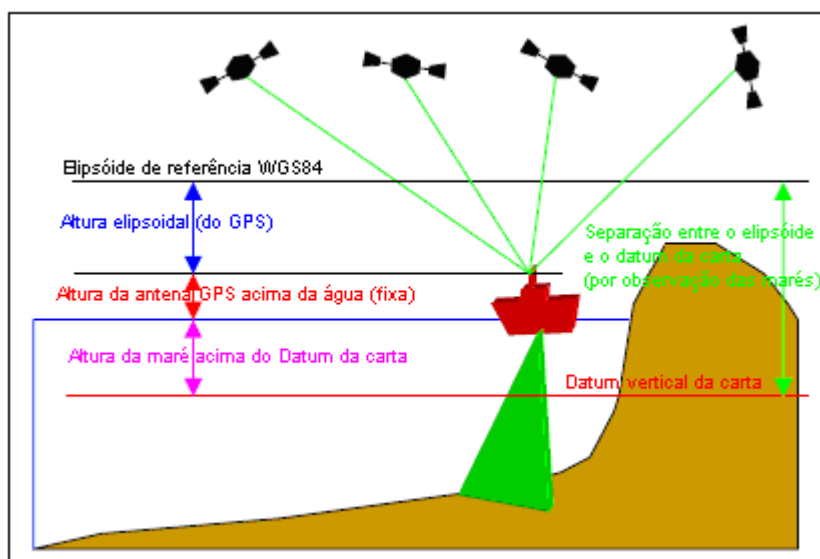



Figura 7.12 – "Medições RTK na embarcação de sondagem"

Procedimentos de Levantamento, Testes e Processamento

a) Método convencional:

i. Devem ser estabelecidos uma série de marégrafos e efetuado a respectiva recolha dos dados de forma a produzir uma série temporal, que deverá estar referenciada com os números das estações;

ii. Os dados do marégrafo devem ser utilizados para eliminar as diferenças reais em tempo na área das diferenças médias horárias entre os marégrafos;

iii. Deve ser apreciado o erro médio resultante da utilização de um marégrafo, a distância máxima a que os dados são válidos e onde os mesmos não excedem os requisitos enumeradas na S-44 5 ª Edição 2008;

iv. A distância de separação entre marégrafos não deve exceder o dobro da distância máxima descrita em iii.

b) Método de observação da fase da portadora DGPS RTK:

i. Não é requerida a utilização de marégrafos durante o levantamento;

ii. Deve ser produzida uma superfície MLLW por um *software* adequado a partir dos diagramas do *Datum* maregráfico;

iii. A embarcação de sondagem deve estar equipada com um receptor móvel GPS OTF capaz de efetuar correções de fase da portadora;

iv. Os dados da embarcação (esquema de equipamentos, calado, caimento dinâmico, etc.) devem ser obtidos a partir de medições de referência a bordo da embarcação de sondagem.

Deve ser realizado um teste sobre o valor de separação das marés GPS RTK de forma a criar a matriz das diferenças entre o elipsóide/MLLW através de um *software* adequado. Para isso um

número suficiente de fiadas transversais na área situada entre os dois marégrafos acústicos, os quais devem estar a recolher dados de marés.

c) Dois métodos de processamento do levantamento são possíveis:

   i. O método convencional utiliza só as coordenadas horizontais GPS (e despreza a vertical) e a profundidade reduzida relativamente ao MLLW é obtida através da aplicação dos dados dos marégrafos às sondas medidas;

   ii. O método GPS RTK providencia uma medição exata da profundidade relativamente à altura da antena GPS sem necessidade de observação das marés. As profundidades GPS estão referenciadas à superfície cinemática GPS maregráfica da Baixa-Mar Inferior média (MLLW). Deve ser selecionado um número aleatório de profundidades de cada fiada para comparar com as profundidades GPS reduzidas com os dados do marégrafo.

4.3. Observações Ambientais

A direção e velocidade da corrente de maré devem ser observadas em locais com significado para a navegação e onde não existam quaisquer observações anteriores. Os requisitos e as posições para as observações devem ser mencionadas nas Especificações Hidrográficas, no entanto, se forem consideradas necessárias estações adicionais, estas devem ser incluídas.

As observações devem ser efetuadas utilizando um correntómetro, perfilador de corrente ou um *floating log-ship*. As observações devem ser feitas a uma profundidade idêntica ao calado médio dos navios que constituem o tráfego na área ou conforme prescrito. As observações não devem ser efetuadas com condições meteorológicas anormais.

Em área com predominância semi-diurna, as observações devem ser efetuadas ao longo durante um único período de 25 horas em marés vivas. Em áreas com predominância da componente diurna são necessários 30 dias de observações utilizando um correntómetro para permitir a análise harmónica. Se não for possível efetuar observações prolongadas, devem ser efetuadas observações suficientes que permitam uma descrição para ser inserida nos Roteiros e representação dos vetores de correntes de marés na carta.

Além das observações tradicionais podem estar disponíveis a partir de fontes locais informações de natureza menos formal, especialmente se afetar embarcações ou iates. Os dados obtidos deverão incluir uma estimativa das velocidades máximas e as direções dos fluxos das marés em período de marés vivas avaliadas pelos melhores meios possíveis. Nas áreas de fortes correntes de maré, especialmente nas imediações dos bancos, zonas rochosas e passagens estreitas, podem ocorrer turbilhões e quedas de água que podem ser de grande importância especialmente para embarcações pequenas ou de baixa potência. Os limites destes fenómenos devem ser fixados, nas marés vivas, em ambas as direções da corrente de marés.

As observações iniciais da velocidade de propagação do som na água devem ser efetuadas de forma a permitir a determinação da variação espacial e temporal em toda a área do levantamento. Uma rede de pontos de observação deve assegurar uma amostragem representativa realizada durante toda a área do levantamento de uma forma metódica e oportuna. Estes dados conjuntamente com outros fatores ambientais tais como o clima, fluxos de água doce, variações sazonais e a topografia do fundo marinho, irá determinar a frequência das observações do perfil da velocidade do som ao longo da coluna de água. A utilização dos perfis em embarcações com seguimento, perfiladores ondulantes e perfiladores montados no casco irão reduzir a necessidade de observações com a embarcação estacionária; porém a profundidade e dimensão do navio podem limitar a capacidade de utilizar tais equipamentos.

Nas Especificações Hidrográficas elaboradas pelo Serviço Hidrográfico deve estar estabelecida a periodicidade para a obtenção dos perfis de velocidade de propagação do som e como devem ser aplicados. A importância da correta utilização dos perfis de velocidade de propagação do som quando se utiliza sondadores de multifeixe não pode ser subestimada.

4.4. Orientação das Fiadas

Descrição Geral

Em termos posicionais, o processo de aquisição de dados pode ser resumido na Figura 7.13. Após a decisão do espaçamento e direção das fiadas ter sido decidido, o hidrógrafo necessita de conhecer a sua posição ao longo da fiada selecionada em todos os instantes.

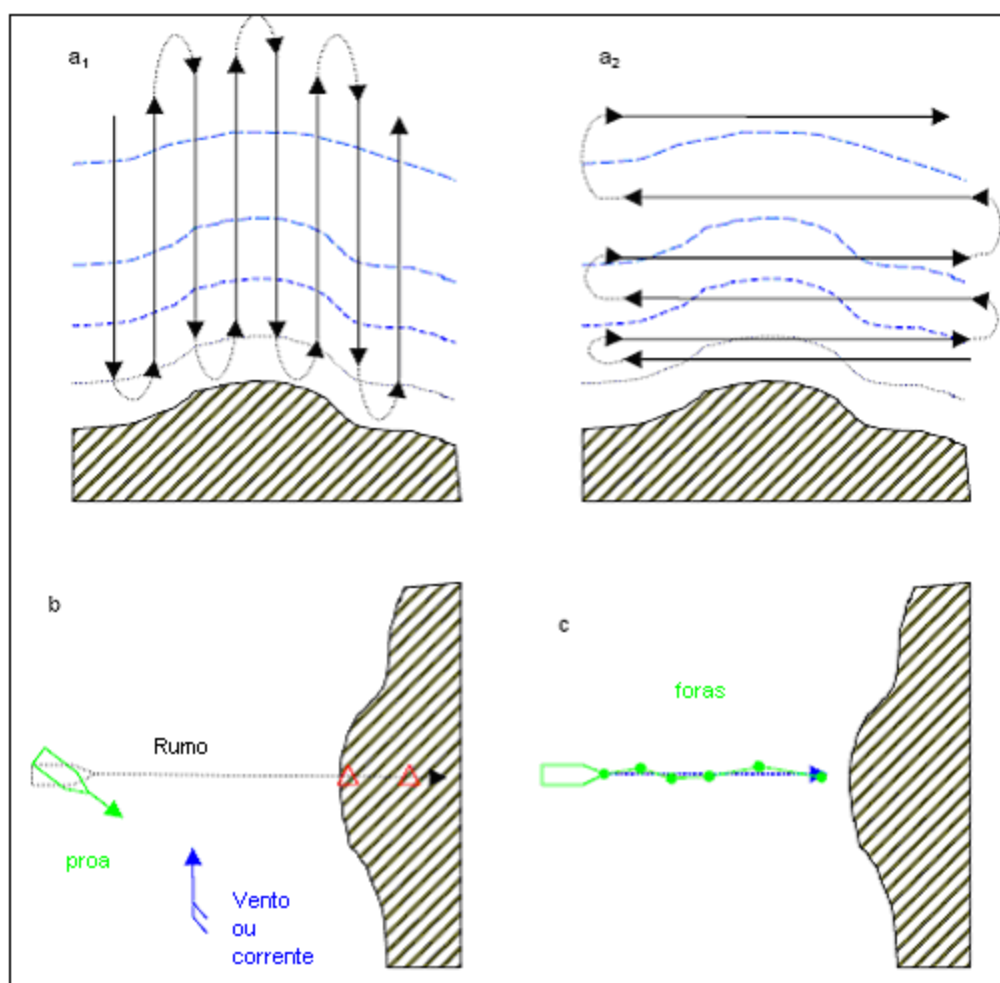



Figura 7.13 – "Fiadas e respectivo controlo das fiadas"

a) A decisão sobre a orientação e espaçamento das fiadas para um levantamento metódico da área vai ser influenciado pelos equipamentos a serem utilizados. A Figura a_1 retrata um levantamento com sondador de feixe simples (SFS), com um espaçamento entre linhas reduzido e uma orientação perpendicular à batimetria, a figura ilustra a_2 levantamento com sondador multifeixe (SMF) ou Sonar Lateral (SL) com linhas espaçadas de forma a terem uma sobreposição mínima e paralelas à batimetria;

b) Percorrer a fiada selecionada;

c) Determinar a fiada atual. A posição da embarcação é registada a intervalos regulares na fiada escolhida assumindo que as posições intermédias se mantêm na linha que une as posições registadas;

O posicionamento tradicional por SPE é atualizado continuamente e, ao observar marcador de posição ou o indicador esquerda/direita, pode ser detectado e corrigido o mais pequeno desvio em relação à fiada escolhida. Além disso, o histórico do marcador de posições, se selecionada para mostrar intervalos de tempo ao longo do percurso da embarcação, permite a representação gráfica precisa de outros dados adquiridos. Os foras visuais, por outro lado, são eventos periódicos e com o pressuposto de que as posições entre os foras irão situar-se na linha que une todas as posições dos foras e que serão cada vez mais erradas à medida que o intervalo entre os foras aumentar. As foras com sextantes, teodolito, estações totais durante um levantamento portuário, podem ser adquiridas em intervalos de poucos segundos e o afastamento da rumo pretendido pode ser corrigido através da manobra da embarcação (como no exemplo acima) ou por uma variedade de outros métodos.

Os modernos SPE e de satélite permitem obter a posição a cada segundo ou menos, providenciando informação contínua da posição num indicador esquerda/direita ou a um sistema automático de aquisição de dados, o que oferece um meio para determinar, em tempo real, o rumo e velocidade do navio em relação ao fundo com uma exatidão diretamente relacionado com o sistema de posicionamento escolhido.

Os levantamentos em áreas inferiores a 25 km^2, podem ser usados agregados de sonares acústicos de fundo, posicionados e fundeados com recurso aos métodos de posicionamento tradicional, em conjunção com sondas ou distâncias sonar de forma a providenciar informação contínua do posicionamento e consequentemente o controlo do governo da embarcação.

Orientação visual das fiadas

Quando são utilizados os métodos visuais de determinação da posição, o percurso do navio é, invariavelmente, representado manualmente com linhas a interligar os foras que representam a rumo seguido pela embarcação. Por isso, o intervalo entre foras e a velocidade da embarcação são selecionados para que as posições sejam suficientemente próximas (separadas entre 3 a 4 cm no papel) para que as imprecisões sejam assumidas como desprezáveis para a escala do levantamento (ou seja, não são representadas as posições da embarcação que não estejam na linha entre foras). O controlo da fiada durante o levantamento geralmente é alcançado de forma independente.

No caso mais difícil de levantamentos no mar sem visibilidade dos pontos de controlo, a condução da embarcação nas fiadas será feita com recurso a uma girobússola ou agulha magnética. Este método não é de todo satisfatório, com exceção de levantamentos a uma escala muito pequena, onde é necessário adiar o ajustamento do rumo até que o fora seja representado. Nestas circunstâncias, um método alternativo de orientação da fiada é o de governar o navio em torno do arco de um ângulo fixo subentendido entre duas marcas ou seguindo uma LDP circular/hiperbólica de uma cadeia SPE tradicional. Estes métodos são superiores aos rumos fornecidos pela agulha/girobússola mas podem ser difíceis de efetuar em levantamentos de grande escala com marcas em terra relativamente perto da zona do levantamento e onde os arcos de pequeno raio constante exigem grandes variações de rumo. Nos nossos dias, os levantamentos no largo utilizam exclusivamente técnicas SPE ou GPS.

Os outros métodos de orientação visual das fiadas e controlo das fiadas são:

a) Trânsito natural - mantendo um objeto próximo da linha de costa enfiado com outro objeto mais no interior na mesma direção da fiada a ser efetuada, o timoneiro deve ser capaz de manter a fiada com mais facilidade e exatidão do que com recurso à agulha. Qualquer objeto adequado pode ser utilizado (arbustos, cercas ou postos telegráficos,

cabanas, partes de edifícios, etc.). As marcas utilizadas no trânsito devem ser suficientemente afastadas, cerca de um terço do comprimento da fiada de forma a permitir obter a sensibilidade adequada.

b) Trânsito Artificial – aplicam-se os mesmos princípios que o trânsito natural. São colocadas marcas artificiais para satisfazer o espaçamento exigido entre fiadas, permitir um guiamento mais preciso e pode ser essencial para trabalhos de grande escala junto a uma costa sem marcas. Este método é particularmente útil quando se efetua levantamentos de grande escala de portos e cais, onde o trânsito perpendicular pode ser erguido de forma a fornecer linhas de orientação e posições fixas em intervalos constantes de forma a satisfazer os requisitos do levantamento;

c) Prisma colimador de 180° - este instrumento simples e robusto permite que o homem do leme consiga ter no seu campo de visão as marcas à sua frente e as localizadas na suas costas simultaneamente para que, em levantamentos portuários ou em rios, a embarcação possa navegar ao longo da linha que liga os pontos localizados em ambas as margens.

d) Direção a partir da costa - a direção da linha pretendida é tirada da carta com o *station pointer* como um ângulo a um objeto de referência ou diretamente a partir da folha de campo pela intersecção de LDPs de uma grade. A direção necessária é observada em seguida por teodolito ou com o sextante com a embarcação direcionada ao longo da linha pelo observador em terra utilizando bandeiras, luzes ou comunicações via rádio. Quando o levantamento é efetuado num rio, bacia ou área de atracação, o observador em terra consegue observar um objeto na margem oposta sobre a linha a ser efetuada, permitindo assim acompanhar o progresso da embarcação a olho.

e) Protagonistas - Ao planear o levantamento com linhas radiais centradas numa marca em terra, essa marca pode servir como marca anterior dum enfiamento. O homem do leme escolhe depois uma marca posterior (natural ou artificial) sucessivamente para cada nova linha. Alternativamente, o método "direção a partir da costa" pode ser utilizado com o observador em terra a ter de ocupar apenas uma estação. Este método é particularmente adequado para levantamentos em torno de cabos e promontórios.

Orientação de uma linha SPE

O controlo pode ser alcançado pelo mero planeamento das fiadas ao longo das linhas circulares de distância ou nas hipérboles de diferentes distâncias dependendo do tipo de sistema utilizado. Se as fiadas são guiadas com as rotas padrão de leitura, qualquer desvio destas linhas é detectada facilmente e a embarcação e a posição da embarcação pode ser fixada na intersecção da linha por uma segunda linha padrão. Num padrão hiperbólico as linhas e os intervalos regulares irão divergir ou convergir mas o incremento da rota é geralmente desprezível. Deve ser tido em conta o incremento da rota, quer pela mudança dos intervalos fixos utilizados ou executando linhas extra entre as linhas iniciais de forma a manter uma distância mínima entre linhas. O indicador esquerda/direita mostra a posição do navio em relação à linha e fornece uma clara orientação para o homem do leme.

Quase todos os fabricantes de sistemas SPE de curto e médio alcance oferecem a possibilidade de um monitor de seguimento como equipamento periférico, o que é especialmente útil quando as linhas não podem ser executados ao longo das fronteiras das rotas como é frequentemente em trabalhos de dragagem ou de assentamento de cabos submarinos. A grade pode ser representada e a fiada selecionada seguida num indicador visual luminoso. Os foras podem ser registados no monitor de seguimento como verificação mas é mais habitual manter registador separado uma vez que a grade é muitas vezes distorcida num monitor de seguimento. alguns tipos de grade são mostrados como uma quadrícula retangular e a escala necessária para o levantamento raramente é a do monitor.

Sistemas automáticos de guiamento

O apêndice 4 do Capítulo 7 (página 8 e 9) delineia uma configuração típica de um sistema hidrográfico automático para uma Sala de Operações num navio de sondagem e a configuração geral do *hardware* na embarcação de sondagem.

De uma forma geral, a configuração do *hardware* de um sistema hidrográfico de aquisição de dados automático é semelhante tanto no navio de sondagem como na embarcação de sondagem, com um *software* hidrográfico adequado para controlar a aquisição, manusear, adquirir e armazenar dados num formato digital específico a partir dos dados do sistema de posicionamento e do sistema sondador (SFS/SMF/SSS). Os modernos *softwares* hidrográficos de aquisição dos dados devem proporcionar uma janela para o homem do leme para permitir conduzir a embarcação, quer manualmente ou automaticamente, ao longo das fiadas pré-programadas.

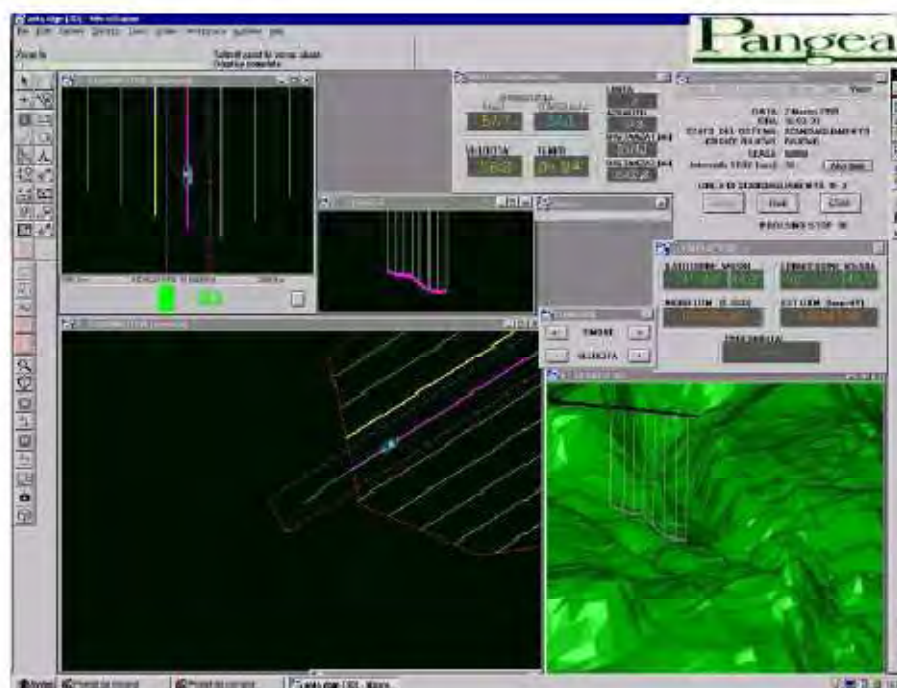



Figura 7.14 – "Imagem vídeo de um *software* de aquisição"

As Figuras 7.14 e 7.15 ilustram algumas imagens típicas adequadas para o homem do leme da embarcação de sondagem fornecendo as seguintes informações:

a) A fiada a ser seguida pela embarcação com a posição georreferenciada em tempo real e atualizada em intervalos de 1 segundo;

b) Indicador esquerda/direita;

c) Informação digital recebida e gerida pelo *software* de aquisição (coordenadas da posição, profundidades, COG, proa, SOG, número da linha e foras, distâncias do início e término da fiada, etc.)

Toda esta informação permite ao homem do leme e ao hidrógrafo controlar e monitorizar o processo de aquisição ao longo da fiada selecionada para cobrir a área do levantamento. O manual do operador do *software* de aquisição deve conter todas as instruções e procedimentos para gerir o controlo da fiada automático que é, em geral, conceptualmente semelhante para todos os fabricantes de *software*.

Figura 7.15 – "Imagem vídeo de um *software* de aquisição"

4.5. Fiadas de Verificação

As fiadas de verificação devem ser executadas no início do levantamento, perpendicularmente às fiadas principais de sondagem e, sempre que possível devem ser executadas em diferentes fases do ciclo de maré e com boas condições de mar. Deve ser recolhida suficiente informação sonar das fiadas de verificação para permitir uma declaração no Relatório de Sondagem da extensão e direção das *ripples* de areia na área do levantamento.

As sondas correspondentes às zonas de cruzamento das fiadas principais de sondagem com as de verificação devem ser comparadas à medida que o levantamento progride para verificar se existem erros grosseiros, erros na modelação cotidal ou avarias nos equipamentos.

Deverá ser utilizada monitorização on-line SMF para verificar a repetibilidade no desempenho do sondador pelo acompanhamento das faixas de sondagem adjacentes. Estes também devem ser usados para garantir que a cobertura e sobreposições das faixas sondadas estão a ser mantidas. Se existirem lacunas na cobertura, devem ser efetuadas fiadas adicionais.

4.6. Fiadas Principais

O tipo de varrimento sonar deve ser articulado nas Especificações Hidrográficas, as quais devem detalhar a % de cobertura, a % de sobreposição e os critérios a serem alcançados para a detecção de objetos. É necessária uma cuidadosa inspeção dos limites das Especificações Hidrográficas e dos levantamentos adjacentes recentes para garantir que não existem lacunas entre eles.

Quando se efetuarem fiadas principais de sondagem em simultâneo com fiadas de sonar, deve ser mantido um cuidadoso equilíbrio entre os requisitos antagónicos. Todos os esforços devem ser efetuados para garantir que não existem lacunas na cobertura sonar e geralmente é necessário dar prioridade à cobertura sonar em detrimento da batimetria. Podem ser necessárias fiadas adicionais para ajudar na delimitação das batimétricas ou objetos críticos, ou no preenchimento de lacunas em zonas onde o erro na posição da fiada é >25% do espaçamento entre fiadas.

Deve ser efetuado um balanço de erros *a priori* e comparado com os requisitos das Especificações Hidrográficas. O balanço de erro deve ser repetido caso existam variações ambientais significativas ou efetuadas mudanças nos equipamentos inicialmente utilizados. Os novos resultados servem de base para a comparação.

O espaçamento das fiadas principais, direção e velocidade do som na água devem cumprir os requisitos das Especificações Hidrográficas e dos critérios estabelecidos. A velocidade ótima e máxima de sondagem deve ser avaliada tendo em conta o leque de profundidades e os sistemas em uso para o levantamento; a taxa máxima de transmissão e a escala das profundidades selecionada deve ser proporcional à profundidade. Normalmente, as fiadas principais de sondagem devem ser executadas perpendicularmente à batimetria (SFS); no entanto as fiadas sonar devem ter uma orientação até 20º em relação à corrente predominante (corrente ou de maré). Em áreas com fortes correntes de maré, direções inferiores a 20º devem ser adotadas para que o sonar rebocado siga, o mais possível, na esteira do navio.

Quando só se utiliza SMF no levantamento, a orientação e o espaçamento das fiadas será ditada pelos critérios detalhados nas Especificações Hidrográficas e pelas necessidades dos clientes. A detecção de objetos e a densidade de dados determinará a % de sobreposição entre faixas adjacentes, o que será uma função da profundidade da água. Desta forma o espaçamento entre fiadas será influenciado pela profundidade da água, densidade de dados, critérios para a detecção de objetos e % de sobreposição, o que dará a % da cobertura alcançada. É provável que o espaçamento entre fiadas varie ao longo da área do levantamento, especialmente se houver diferenças acentuadas nas profundidades. É necessária uma monitorização cuidadosa durante o levantamento de forma a garantir que são atingidos os objetivos desejados.

Os intervalos dos foras e o intervalo de gravação devem ser definidos consoante a escala do levantamento e o sistema de processamento utilizado.

Quando se utilizar SFS, devem ser executadas fiadas adicionais perpendiculares à batimetria com um espaçamento normal desde a batimétrica dos 10 metros até costa de forma a determinar a batimétrica dos 5 e 2 metros. Devem ser efetuadas fiadas adicionais paralelas aos cais e molhes com um espaçamento entre 2,5 e 10 metros.

A sondagem de bancos de areia deverá ter lugar em marés mortas e após períodos de acalmia meteorológica, período em que os bancos de areia têm a maior amplitude. Sempre que possível deve efetuar-se novo levantamento na área dos bancos de areia seguindo as mesmas fiadas de forma a detectar mudanças nos perfis dos bancos de areia.

Devem ser tomados cuidados na delimitação da linha de costa, particularmente no que diz respeito aos bancos submersos, rochas e baixios, pois a posição de tais características pode ter implicações legais internacionais. Quando se efetuam levantamentos em portos e baías, com áreas de ancoradouro ou de encalhe das pequenas embarcações, as zonas secas e de lodo devem ser rigorosamente delimitadas.

Sempre que um levantamento inclua um canal, trajetos recomendados ou um enfiamento em águas restritas, estes devem ser cobertos por sonar. Ao planear estas ações deve ter-se em conta os navios de maior dimensão esperados praticar estes caminhos, com especial atenção às bacias de manobra e locais de mudança de rumo.

Devem ser efetuados controlos periódicos de forma a verificar o desempenho sonar. As ocasiões recomendadas são:

a) Na primeira fiada;

b) Uma vez por dia, quando operando em áreas de fundos regulares;

c) Após a manutenção ou reparação;

d) Após mudança do peixe rebocado ou das aletas;

e) Se o desempenho estiver duvidoso.

O varrimento sonar deverá ser modificado para garantir a cobertura completa, se se verificar que o sistema sonar não está a funcionar no seu alcance máximo devido às condições da água ou devido à inadequação de materiais que não podem ser reparados.

Deverá ser empregue um magnetómetro em toda a área coberta pelo sonar de varrimento para fornecer provas adicionais da existência de metais ferrosos no, ou abaixo, do fundo marinho.

É de extrema importância que o fundo seja totalmente coberto, sem falhas e que cada característica significativa do fundo marinho, artificial ou obstrução seja localizada.

4.7. Adensamentos e Investigação

Os itens da lista de navios afundados requerem uma pesquisa de confirmação a qual deve estender-se até um raio de 2,5 milhas centrado na posição listada. O limite da área de pesquisa pode estender-se para além dos limites dados nas Especificações Hidrográficas. Porém essa extensão é essencial para evitar a anomalia de ter uma posição aproximada (PA) de um navio afundado numa área considerada como tendo cobertura total. Deve-se assegurar que qualquer pesquisa necessária que se estenda para além dos limites da área de sondagem seja coberta. Deverão ser planeadas fiadas adicionais para serem executados fora da área de forma a garantir a completa insonificação da área com a adequada sobreposição.

Devem ser tidos cuidados especiais nas zonas de resguardo de 500 metros em torno de instalações submersas, operações com cabos submarinos, campos de petróleo ou áreas de exploração para garantir a segurança de qualquer equipamento rebocado.

Para um objeto cartografado com PA, a pesquisa sonar deve ser realizada em 2 direções perpendiculares e estender-se a pelo menos 2,5 milhas posição do *Datum*. Se existir um elevado grau de confiança de que a pesquisa inicial em determinada direção foi totalmente exaustiva e que o equipamento sonar estava a funcionar de forma satisfatória, pode ser tido em conta para dispensar a pesquisa na segunda direção.

Objetos cujas posições tenham sido previamente determinadas, mas que não podem ser encontrados durante o levantamento, necessitam de uma investigação muito pormenorizada para confirmação. Quando esses objetos são abrangidos pelo levantamento e quando é concluída uma busca sonar de meia milha de raio em torno da posição listada, esta pesquisa será considerada suficiente. Deverá ser utilizado também um magnetómetro. Quando não existe nenhuma dúvida sobre a posição geográfica de um navio naufragado após sondagens repetidas, o raio de busca acima pode ser reduzido. Deve-se ter em consideração o emprego da rocega.

Cada contacto deve ser cuidadosamente analisado utilizando um sonar lateral. A sua posição e profundidade mínima devem ser determinadas por uma sondagem próxima caso seja confirmado o contacto. Deverão ser executadas no mínimo 4 boas fiadas, compreendendo 2 pares perpendiculares. No caso dos navios afundados, um par de fiadas deverá ser paralelo e o outro par perpendicular ao eixo do navio naufragado.

Pode ser obtida informação adicional referente ao contacto a partir da utilização de sonares, sondas, magnetómetros, rocega, mergulhadores ou uma combinação destes. Cada contacto deve ter os seguintes detalhes:

a) Posição;

b) Sonda mínima;

c) Natureza do objeto;

d) Comprimento, largura e orientação;

e) Profundidade, comprimento e orientação da forma erosiva;

f) Comprimento e orientação do campo de destroços;

g) Força do campo magnético.

O exame da lista de destroços pode fornecer uma ajuda na identificação do objeto. Porém, deve-se ter cuidado na ligação de destroços recém-descobertos com os contidos na lista dos navios afundados. As pesquisas de confirmação podem ser necessárias em posições cartografadas. O uso de mergulhadores pode ser útil na identificação de navios afundados e no relato do seu estado e atitude particularmente na detecção e localização de sondas mínimas que podem não ter sido distinguidas pelo sonar ou sonda.

A profundidade mínima dos navios naufragados e obstáculos tem de ser estabelecida, em determinadas circunstâncias isto exigirá o uso de rocega, que deverá ser realizada após determinação da posição, tamanho, orientação e provavelmente a profundidade mínima por sonar ou sonda. A rocega por cabo deve ser considerada nas seguintes circunstâncias:

a) Como diretiva nas Especificações Hidrográficas para destroços específicos;

b) Se a profundidade mínima é provável que seja menor que 40 metros;

c) Quando as profundidades em torno do navio naufragado forem significativamente diferentes das representadas na carta;

d) Quando operações de recuperação/dispersão tenham tido lugar após o último levantamento;

e) Indicações sonar de mastros ou estruturas salientes;

f) Áreas cartografadas como obstrução (*foul*) dentro de fundeadouros;

g) Destroços em áreas de fortes correntes de maré e de fundos de grande mobilidade;

h) Quando a posição do navio naufragado é significativamente diferente da cartografada.

Deve-se ter cuidados para assegurar que toda a área do destroço está coberta pela rocega, com várias passagens, e que não há lacunas entre as varreduras (passagens). Não é suficiente cobrir apenas as áreas que parecem ser as sondas mínimas.

Deve ser dada especial atenção à medição de profundidades <40 metros, onde a profundidade mínima deve ser obtida sobre todas as características do fundo. O adensamento da sondagem deve ser efetuado em profundidades <40 metros a menos que o fundo do mar seja plano, sem estruturas e se comprovasse a inexistência de perigos através de uma cobertura completa com sonar rebocado ou SMF de alta definição.

4.8. Observações auxiliares/diversas

Devem ser obtidas amostras de fundo a intervalos regulares durante toda a área do levantamento. Amostras adicionais devem ser efetuadas em todos os ancoradouros prováveis, em todos os bancos, baixios e montes submarinos, especialmente onde estes são susceptíveis de ser instáveis e nos canais entre eles. Aproximadamente 10% das amostras obtidas devem ser conservadas para serem entregues no final do levantamento.

As amostras de fundo devem ser obtidas em toda a área do levantamento antes do início do varrimento sonar de forma a proporcionar um método de autenticar as fotografias sonar do fundo e para permitir a interpretação mais exata das texturas do fundo.

Antes da chegada à área do levantamento, devem ser identificadas das cartas de maior escala, da Lista de Luzes e da Lista de Radioajudas todas as marcas e ajudas à navegação, fixas ou flutuantes. À chegada à área, todas as ajudas ou marcas de navegação desconhecidas devem ser identificadas.

A posição de cada nova marca de navegação fixa ou flutuante deve ser determinada. Sempre que exista suspeita que as marcas flutuantes de encontrem fora da posição na carteada, deve ser registada a sua posição na vazante e na enchente de maré. No entanto, se for possível obter uma posição inequívoca da poita/ferro de amarração através da batimetria de multifeixe, é admissível utilizar essa posição como a posição na carta.

Devem ser registados as seguintes características para ajudas à navegação com luzes:

a) Altura do plano focal;

b) Características da luz e som;

c) Sectores de luz e arcos de ocultação;

d) Forma e cor da estrutura;

e) Forma e cor da marca (alvo) superior.

Devem ser tiradas fotografias a cor de todas as marcas para inclusão nos Roteiros (*Sailing directions*).

As autoridades portuárias devem ser consultadas sobre as mudanças encontradas nas ajudas à navegação de forma a determinar se essas alterações são temporárias ou permanentes. Devem ser obtidos detalhes de algumas alterações planeadas.

Deverão ser recolhidos os detalhes das operações rádio portuárias, incluindo *Ship Reporting Systems* (VTS, VTM, VTIS, etc.), serviços de rádio dos pilotos, radioajudas à navegação (incluindo (Aero) rádiobalizas, balizas radar, etc.), serviços de estação rádio costeiras (ou seja, avisos à navegação e difusão de informações meteorológicas, horários, etc.), instalações GMDSS, juntamente com procedimentos de Busca e Salvamento.

Todas as oportunidades devem ser utilizadas para obter detalhes de fenómenos naturais durante o decorrer do levantamento. Estes fenómenos incluem:

a) A *Deep Scattering Layer* é constituída por plâncton, pequenos organismos marinhos e de peixes que se alimentam deles. Algumas destas espécies têm bexigas-natatórias que respondem às transmissões dos sonares ou das sondas, causando dispersão das ondas sonoras, o que pode ter considerável efeito sobre operações sonar. Relatórios do fenómeno são portanto importantes e devem ser produzidos;

b) Bio-luminescência marinha é causada principalmente por animais marinhos que variam em tamanho desde organismos microscópicos até grandes de peixes, lulas e alforrecas. É mais comum encontrá-los em águas quentes do que nas frias e são de considerável interesse para os biólogos marinhos e cientistas militares. Relatórios do fenómeno são portanto importantes e devem ser produzidos;

c) A descoloração da água é geralmente de origem biológica. As amostras de água e observações *secchi* de tais áreas são de grande interesse e devem ser obtidas e relatadas;

d) Relatórios da vida marinha deverão ser elaborados de forma a cobrir os movimentos das baleias e de outras espécies de mamíferos marinhos, que são de grande interesse na guerra anti-submarina e para os biólogos marinhos. A presença de atividade de pesca comercial na área do levantamento é de grande importância porque o som gerado pelos motores e artes de pesca utilizados podem afetar significativamente os níveis de ruído ambiente. Também a presença de uma frota de pesca pode indicar a presença de grandes populações de peixes. O efeito sonoro causado pelos cardumes de peixes pode inibir o desempenho sonar. Avistamentos devem ser incluídos no Relatório Final.

5. DELIMITAÇÃO DA LINHA DE COSTA

5.1. Generalidades da Linha de Costa

A delimitação exata da orla costeira e das características costeiras é uma característica essencial de um Levantamento Hidrográfico, uma vez que o navegante necessita muitas vezes de determinar a sua posição por azimutes, ângulos ou distâncias a promontórios ou estruturas com características semelhantes no litoral. Geralmente, nos levantamentos hidrográficos, a linha de costa é definida em relação um *Datum* na Preia-mar.

A linha de costa, com exceção dos levantamentos expeditos e superficiais, deve ser sempre efetuada a pé sempre que a natureza o permita. Com a prática de efetuar uma passagem ao longo da costa com a embarcação e só efetuar o desembarque em determinados locais discretos perderam-se muitos rios e embocaduras de pequenas dimensões.

Em alguns casos, a utilização de mapas dos levantamentos topográficos baseados em fotografias aéreas modernas ou imagens por satélite irão fornecer dados adequados que podem ser utilizados para auxiliar no traçado da linha de costa. Ocasionalmente será efetuada fotografia aérea especialmente para o levantamento e um ortofotomapa produzido à escala adequada. Este fato, todavia, não elimina a necessidade de efetuar uma passagem a pé pela orla costeira.

Todos os mapas dos levantamentos topográficos e as fotografias aéreas devem ser verificadas no campo antes da sua utilização nas pranchetas. Quando os mapas não são adequados, a linha de costa deve ser levantada devidamente com a determinação da posição das características importantes por um método regular dependendo da escala do levantamento.

Ao delimitar a linha de costa, o hidrógrafo deve traçar a linha de costa da melhor forma possível e observando sempre a natureza da faixa litoral submersa, mesmo quando se encontra a verificar um mapa ou uma foto. A melhor maneira para encontrar a linha de costa é por sondas reduzidas, mas toda parte da faixa litoral submersa deve, se possível, ser vista pelo menos uma vez durante o período da baixa-mar, a fim de ver se existem perigos que possam ter escapado à inspeção. Isto é especialmente necessário quando a amplitude da maré é grande.

5.2. Detalhes costeiros necessários

O hidrógrafo deve efetuar as seguintes tarefas:

a) Delinear e determinar as posições da linha de costa com os melhores métodos possíveis;

b) Determinar as posições de todos os objetos conspícuos e proeminentes para o navegador, os quais não têm a sua posição determinada e verificar se as marcas/características existentes nas cartas e publicações se encontram posicionados e descritos corretamente, muito embora possam estar mais para o interior;

c) Determinar as posições, descrever ou indicar na carta todos os objetos e as características da linha de costa que irá ajudar o navegador a determinar a sua posição e identificar o litoral. Os levantamentos em escalas grandes incluirão muitos detalhes pequenos que só poderão ser observados junto a costa;

d) Medir e calcular as alturas de todas essas características, algumas destas características podem ser descritas em termos gerais, como " falésia vermelha baixa, 5 a 6 metros de altura";

e) Determinar as posições de todas as ilhas, perigos ao largo visíveis e determinar a sua altura, também determinar as posições das marcas adjacentes flutuantes (bóias não representadas na carta);

f) Descrever a composição da praia entre a linha de baixa-mar da água e a linha de preia-mar como acima desta última linha. Os símbolos apropriados devem ser inseridos nas pranchetas;

g) Indicar locais de desembarque estabelecidos ao longo da costa. Determinar as posições dos quebra-mar, esgotos, descargas e tudo o que possa constituir perigo para o desembarque. Determinar as posições dos cais e molhes e obter uma descrição completa a qual deverá incluir tipo de estrutura, as profundidades, a altura do cais acima do *Datum* da Preia-mar e facilidades disponíveis;

h) Detalhes dos portos devem ser obtidos contendo facilidades de atracação e abastecimento disponíveis, estas informações devem ser incluídas nos Roteiros;

i) Sempre que apropriado, a toponímia correta deve ser obtida de fontes locais confiáveis e verificadas com os nomes descritos nas cartas, mapas e publicações.

Adicionalmente o hidrógrafo deve ter uma preocupação com os detalhes topográficos nas proximidades da costa. A quantidade de detalhes vai depender do tempo disponível, a escala do levantamento e se a topografia vai ser obtidas por uma outra equipa de campo ou por outros meios, tais como fotografia aérea.

5.3. Detalhes com interesse para o navegante

Marcas/objetos CONSPÍCUOS. – Os navegadores utilizam azimutes a cumes, igrejas, chaminés, moinhos de vento, mastros, edifícios permanentes, etc. Estas serão visíveis a uma boa distância de costa.

Marcas proeminentes. – Novamente os navegadores usaram azimutes a cumes, igrejas, chaminés, moinhos de vento, mastros, edifícios permanentes, etc. Estas serão visíveis perto de costa/na costa.

Cabos, Ilhas, estruturas ao largo. - Os navegadores utilizam azimutes de resguardo à esquerda e à direita e ângulos verticais ao topo dos precipícios, etc.

Facilidades Portuárias e instalações. – Determinar as dimensões e altura dos molhes, orientação e profundidades, tipo de construção, ancoradouros e facilidades de atracação, facilidades para

pequenas embarcações, detalhes para embarcações visitantes, marinas, clubes náuticos, facilidades de reabastecimento de combustível, etc.

Características Principais em Terra:

a) Objetos Naturais – Colinas, rios, lagos, pântanos, bosques, contornos, etc.

b) Objetos Artificiais – Edifícios, cidades, bandeiras, estradas, linhas de caminho de ferro, fábricas, etc.

c) Contornos – Suficientes para indicar a altura e forma da região costeira.

d) Natureza da topografia de costa – Para ajudar o reconhecimento e seleção de locais para desembarque.

Luzes. – Os detalhes devem ser verificados no campo e comparados com a Lista de Luzes.

Roteiros. – Descrição detalhada de toda a linha de costa, dos portos e facilidades portuárias.

5.4. Topografia

Caso exista mapas de levantamentos topográficos recentes, fotografias aéreas ou impressões a partir de fotografia, devem ser totalmente verificados no campo e quaisquer discrepâncias devem ser assinaladas e registadas.

A topografia representada nas cartas de grande escala deverá ser igualmente verificada no campo para ser atualizada ao pormenor o que normalmente não é representado nas cartas e que não é visível em fotografias aéreas, prestando especial atenção aos detalhes da costa, por exemplo, balizas, bandeiras, quebra-mar, etc. Os objetos cartografados que já não existem devem ser registados, de preferência como “retirado (apagar)” numa cópia da carta, que deverá ser enviada com os resultados do levantamento.

Nenhum detalhe topográfico deve ser representado na prancheta a menos que tenha sido adquirida no campo, ou se a sua existência e localização no mapa ou fotografia aérea tiverem sido confirmadas pelo hidrógrafo. Os detalhes recentemente levantados devem ser incluídos, enquanto que os detalhes oriundos de outras fontes e que são considerados corretos podem ser transferidos para a prancheta tendo em conta o poder discricionário do hidrógrafo para uma apresentação mais equilibrada e completa. Os detalhes devem ser inseridos meticulosamente, de modo a que não se coloquem quaisquer dúvidas sobre a sua autenticidade em subsequentes pedidos de informação.

Quando não existem mapas ou fotografias aéreas recentes, a posição de todos os detalhes topográficos úteis para o navegador devem ser determinados com exatidão e representados na prancheta. Em particular, todas as estruturas que podem ser utilizadas para determinar a posição do navio, quer visualmente ou por radar, devem ser registados e, se possível, coordenados. A não ser que se tenha tempo e meios disponíveis, não devem ser dispendidos esforços em recolher dados topográficos de menor detalhe ou sem interesse para o navegador ou que não sejam visíveis do mar.

Quaisquer alterações encontradas devem ser reportadas.

5.5. Delimitação da linha de baixa-mar (*Drying line*)

A linha de baixa-mar é, em geral, a linha base para determinação dos limites do mar territorial e das linha base associadas e a sua cuidadosa delimitação é muito importante porque pode afetar os limites da pesca, a observância dos regulamentos da poluição, as licenças de extração mineira ao largo, bem como a delimitação das fronteiras internacionais. Os hidrógrafos devem, portanto, ter

especial cuidado na delimitação da linha de baixa-mar no continente, ilhas e estruturas localizadas na zona de cobre e descobre, embora possam ser de pouco interesse para o navegador.

O levantamento de uma área que envolve características que podem ficar a seco (área cobre descobre) deve ser considerado incompleto se a linha de baixa-mar não estiver devidamente delineada, a menos que sejam emitidas instruções específicas em contrário.

5.6. Alturas das características em terra

A altura de todos os terrenos ribeirinhos na costa deve ser obtida mesmo que a sua elevação seja reduzida, em particular todas as pequenas ilhotas e rochas que aparecem acima do nível de água devem ter a sua altura registada. Se não houverem cumes disponíveis, a altura das pontas da árvore ou ilhas devem ser calculadas e registadas. Da mesma forma, a altura de todas as características artificiais altas tais como postes, chaminés etc.

As falésias devem ter anotada a sua altura e a sua cor, se for conspícua.

As alturas de objetos devem ser referidas ao Nível Médio do Mar (ou equivalente). Se isto for impossível, a altura real do objeto pode ser mostrado como uma legenda. Para objetivos específicos ou em levantamentos em rios, outros critérios para o plano de referência podem ser utilizados.

5.7. Carteando o espraiado

A principal preocupação quando se efetua a cartografia do espraiado é a determinação da posição de todos os perigoso que podem ter escapado durante a sondagem, como os afloramentos rochosos ou obstruções construídas pelo homem. As posições dos objetos que estão para além da linha de baixa-mar devem ser determinadas, tais como as condutas ou cabos proeminentes que se estendem da praia para o mar para além da linha de baixa-mar e que possam ser um perigo para as embarcações que fundearem. A natureza do espraiado deve ser registada.

5.8. *Overlay* da linha de costa

Uma *overlay* da linha de costa devidamente preparada deve conter:

a) Título do levantamento. Número específico do levantamento, escala, nome do navio e qualquer outra identificação subsidiária;

b) Posição de todas as marcas coordenadas utilizadas;

c) A grade em coordenadas geográficas cujas posições são marcadas com um círculo a tinta cujo valor é indicado pelo menos com 2 posições;

d) Escala da diagonal;

e) Meridianos verdadeiros e magnéticos;

f) Uma nota do valor da distância mínima impressa, que é ¼ de mm em papel, independentemente da escala (1: 10 000 = 2 ½ m)

5.9. Utilização de prancheta de fotografia aérea

Uma prancheta de fotografia aérea da área costeira dentro dos limites do levantamento hidrográfico poderá, por vezes, ser preparada no Serviço Hidrográfico quando:

a) A topografia existente encontrar-se ultrapassada, seja medíocre ou inexistente;

b) As características hidrográficas com interesse, por exemplo rochas submarinas são representadas inadequadamente ou não se encontram incluídas nos mapas topográficos e são evidentes nas fotografias efetuadas;

c) As alturas das áreas a seco podem ser estabelecidas de forma rigorosa e eficiente por meios fotogramétricos.

Quando uma prancheta de fotografia aérea tenha sido fornecida como apoio a uma especificação de um levantamento, pode ser adotado o seguinte procedimento:

a) A prancheta de fotografia deve ser cuidadosamente verificada no campo para os erros de interpretação da foto, forma e posição. As dificuldades enfrentadas na compilação da prancheta e discrepâncias com os dados existentes, devem ser salientados no relatório que acompanha a fotografia. Especial atenção deve ser dada à resolução dessas divergências;

b) Os dados da prancheta de fotografia que não foram verificados no campo não devem ser incluídos na prancheta batimétrica. Convém notar que a linha de água retirada da fotografia aérea raramente coincide precisamente com *Datum* da Carta, especialmente em áreas com declive pouco pronunciado e pode haver uma necessidade de ajustá-lo antes de inserir na Prancheta final;

c) Emendas à fotografia devem ser ilustradas através da marcação das correções numa cópia da prancheta;

d) Quando exigido, as fotografias aéreas fornecidas devem ser marcadas e identificadas no verso, para ilustrar o controlo adicional estabelecido para o levantamento.

As fotografias aéreas existentes podem ser de grande utilidade na delimitação da linha de costa. Os pontos de controlo no terreno anteriormente utilizados devem ser verificados tendo em conta o sistema de referência do levantamento e tendo em mente que a escala do voo pode ter de ser expandidas 4 ou 5 vezes para igualar a escala do levantamento. Note que erros na elevação do terreno em fotogrametria são cerca de 1/5000 da altura do voo enquanto os erros horizontais são bastante inferiores.

Quando o objetivo é a delimitação da linha de costa devem ser planeadas faixas retilíneas paralelas à linha de costa. A sobreposição das faixas deverá incluir pontos de controlo comuns e os voos devem ser efetuados em períodos de baixa-mar.

Para os levantamentos de grande escala (inferiores a 1:50000) em que será utilizada fotogrametria para a obtenção do relevo do terreno e outros detalhes topográficos será necessário um controlo a 3D adicional. Os erros nas coordenadas dos pontos de controlo no terreno devem ser inferiores a metade dos erros da aerotriangulação dos pontos utilizados durante a interpretação fotogramétrica.

Para o ajustamento da faixa de aerotriangulação são obrigatórios 4 pontos de controlo planimétricos (3D). Para cada faixa devem ser selecionados no seu interior mais pontos de controlo.

Em voos mais complexos com um grande número de faixas paralelas, a aerotriangulação possibilita efetuar um ajustamento em bloco. Os pontos de controlo planimétricos no terreno podem ser da ordem de 5+0,2M (onde M = o número do modelo do processo aerotriangulação). Pontos de controlo altimétricos adicionais podem ser requeridos em áreas onde são necessárias alturas exatas dos objetos.

Para os levantamentos de menor escala (superior a 1:50000) é exigido um menor número de pontos de controlo no terreno, apenas alguns com as coordenadas horizontais conhecidas. Isso também é válido para a imagem por satélite.

A fotogrametria ou imagens por satélite não dispensa o hidrógrafo de efetuar no campo a exploração da linha de costa.

5.10. Métodos para obtenção da linha de costa

Seja qual for o método utilizado, os pontos devem ser determinados sobre o nível da preia-mar (HWL) tão perto no papel que os detalhes conseguem-se distinguir com exatidão. O espaçamento no papel depende, portanto, da complexidade da linha de costa.

O registo típico para tirada utilizando um sextante e uma estaca de 10 polegadas é detalhado abaixo. Um registo similar será empregue quando se efetua a intersecção das linhas de posição ou quando se usa uma combinação de ambos os métodos. Observe que o diagrama engloba todos os ângulos e distâncias constantes na página de registo.

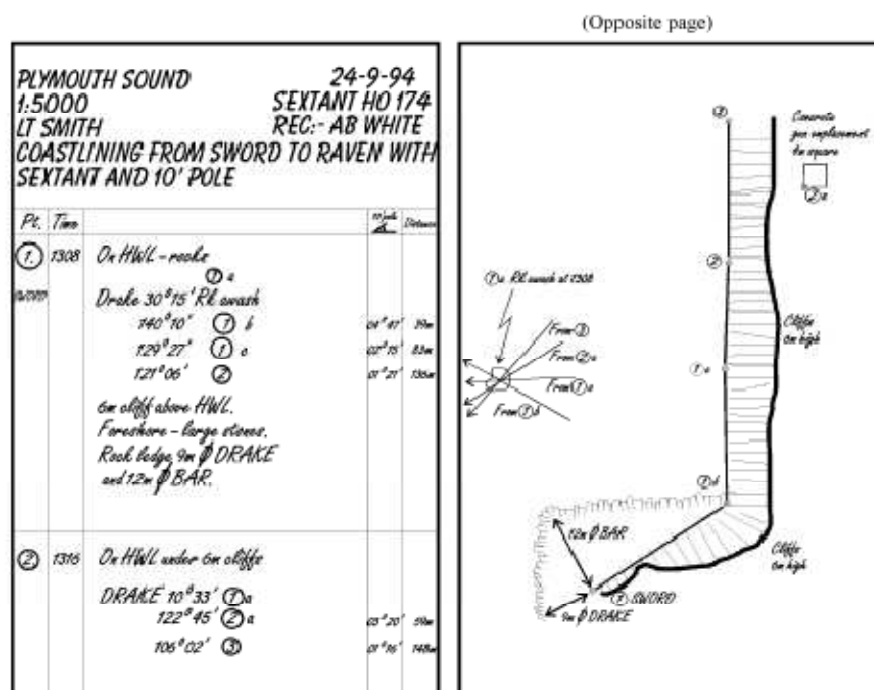



Figura 7.16

5.11. Traçar a linha de costa

É costume desenhar a linha de costa traçando as posições derivadas da intersecção de linhas de posição ou dos pontos retirados diretamente numa *overlay* da linha de costa, apesar de também poder ser utilizada uma folha milimétrica. Poderá também ser apropriado calcular os pontos de viragem de uma tirada e ajustá-los antes de traçar. Selecione vários pontos de coordenadas conhecidas usados para iniciar e fechar as tiradas enquanto que os restantes detalhes da linha de costa podem ser traçados à mão.

O método gráfico para traçar a linha de costa é dado em seguida:

a) Traçar os pontos por protração de ângulo e distância. Será conveniente a utilização de um grande transferidor circular de plástico transparente, compasso, picador e lápis 4H bem

afiado. É importante lembrar-se de evitar o uso de zeros curtos sobre o papel para alinhar o transferidor. Quando traçar os raios, deve garantir que estes são desenhados mais compridos que o exigido e os buracos feitos nos cantos do transferidor são marcados de forma a poderem ser utilizados novamente para alinhamento do transferidor caso seja necessário. É importante fazer isto quando o objeto de referência é a marca traseira da transversa e desta forma o zero para o traçado deve ser bastante curto se a marca traseira dos buracos fossem utilizados para alinhar o transferidor. Se os resíduos da transversa forem aceitáveis esta deve ser ajustada graficamente. Se os resíduos existentes forem grandes normalmente será devido a um único erro grosseiro do que a uma acumulação de erros menores. A gravação deve ser cuidadosamente verificada antes de ser abandonada e voltar efetuar um novo levantamento da secção no campo;

b) Os pontos intermédios, tangentes e *plotting shots* são desenhados a partir das posições corretas dos pontos de viragem; deve-se ter cuidado a zero nos pontos corretos das marcas traseiras, desenhar das linhas através deles;

c) O detalhe da linha de costa entre os pontos intermédios é inserida de seguida utilizando o esboço cartográfico; fotografia aérea e os mapas existentes são bastante úteis tal como a informação retiradas nas notas dos sondadores no final de cada fiada;

d) A linha de costa é então colorida utilizando as cores e símbolos apropriados (consultar INT5011). Quando representar arribas ou costas íngremes, a base das arribas deve ser corretamente representada mas o topo pode ser desenhado bastante dentro de forma a permitir inserir o trabalho com a caneta; um exagero semelhante é necessário com determinados símbolos mas é preciso ter muito cuidado com aqueles que representam características da baixa-mar para garantir que o limite para o lado do mar é representado corretamente.

5.12. Relatório da delineação da linha de costa

Os levantamentos da linha de costa devem ser reportados de acordo com o Apêndice 2 deste capítulo, no entanto alguns dos aspectos mais importantes são os seguintes:

a) Declaração do objetivo do trabalho, anotando se é para atualização de uma carta existente, para uma nova carta ou para fins especiais. Indique quais as outras fontes de material utilizadas para além das observações de campo efetuadas pelo hidrógrafo no terreno;

b) Um breve resumo dos métodos utilizados e as medições efetuadas para estabelecer o controlo para o levantamento da linha de costa, incluindo quaisquer pontos de controlo para as fotografias aéreas;

c) Realçar eventuais dificuldades encontradas e de quaisquer trabalhos adicionais requeridos; fornecer uma indicação da duração prevista antes de efetuar novo levantamento se for necessário;

d) Fornecer uma avaliação dos erros de coordenação dos objetos e marcas levantadas;

e) Descrever todos os novos pontos de controlo estabelecidos com a indicação da esperança de vida, relatar os pontos de controlo antigos que foram reocupados e avaliar o estado do material; deve ser efetuada uma descrição detalhada de todos os pontos;

f) Deverão ser entregues informações completas sobre os resultados obtidos; todas as impressões, fotografias, gravações vídeo, relatórios com informação dos portos e portuárias, amostras obtidas e registos do levantamento devem ser listados para serem entregues;

g) As fontes da toponímia que tenham sido obtidos deverão ser comunicadas, caso obtido localmente os mapas modernos devem ser utilizados para confirmar esses nomes, as cópias devem ser enviadas com o Relatório do Levantamento;

h) O hidrógrafo deve comentar a plenitude do levantamento e indicar onde é necessário novos trabalhos.

Como com todos os registos dos levantamentos, é vital que todos os registos do levantamento da linha de costa sejam verificados para garantir que não existam anomalias e que existe coerência entre as informações citadas. Todos os registos a serem entregues devem ser cuidadosamente controlados e listados para garantir que no Serviço Hidrográfico exista um entendimento claro do levantamento.

6. PROCESSAMENTO DE DADOS

O cuidado e a atenção dedicada ao trabalho no campo deve ser estendida a todos os aspectos do processamento de dados e para a anotação cuidadosa e legível de todos os materiais originais usados para gerar os registos finais. O princípio subjacente a ser observado na elaboração dos registos de qualquer levantamento é que eles devem ser totalmente compreensíveis para qualquer pessoa que tenha um conhecimento sólido do tipo de levantamento em causa. A preparação de todos os dados na forma estabelecida, ordenada, concisa e exata, é absolutamente vital; a terminologia utilizada deve ser efetuada de acordo com as definições da Publicação S-32 da OHI.

6.1. Batimetria

O resultado do processo de detecção do fundo, quando se utiliza um SMF, é o tempo exato e o ângulo de chegada para cada profundidade medida. Estes 2 parâmetros, conjuntamente com a informação do perfil da velocidade do som na água são utilizados como entradas para os algoritmos de traçado do raio sonoro que irão convertê-los numa profundidade determinada com exatidão e numa distância perpendicular à fiada que é realizada quase em tempo real.

O grande volume de dados recolhidos com SMF significa invariavelmente que o processamento por área é o único método realista. Os levantamentos efetuados com SFS podem ser processados de forma semelhante, porém um processamento fiada a fiada com comparação direta com o trajeto do, se gerado, é muitas vezes mais adequado.

A utilização de sistemas de navegação por satélite tem vindo a reduzir a quantidade de pós-processamento e a necessidade de edição da trajetória da embarcação. Porém um cuidadoso CQ da saída do sistema de navegação online e as estatísticas são fundamentais para garantir que os requisitos posicionais são alcançados.

Os dados dos perfis da velocidade de propagação do som da coluna de água deverão ser obtidos em intervalos regulares durante as operações de sondagem particularmente se não estiverem a ser efetuadas e aplicadas observações contínuas da velocidade de propagação do som. O intervalo entre as observações da velocidade de propagação do som vai ser determinado pela dinâmica ambiental avaliada a partir dos dados iniciais temporais e espaciais obtidos em conformidade com o parágrafo 4.4.5.

Todos os algoritmos utilizados na edição dos dados deverão ser registados e incluídos no Relatório do Levantamento de forma a permitir uma clara compreensão do processamento pelo Serviço Hidrográfico. A suavização e os parâmetros dos filtros podem ser detalhados na Especificação Hidrográficas ou estabelecidos por norma do Serviço Hidrográfico. Qualquer alteração deve ser justificada no Relatório do Levantamento. O excesso de filtragem e suavização deve ser evitado.

O processo de edição e tratamento deve seguir uma lógica, permitindo efetuar uma auditoria clara a todas as ações e parâmetros a fim de serem verificados e aprovados. Uma rotina de CQ deve estar em funcionamento durante todo o levantamento que deverá permitir a comparação com levantamentos anteriores, cartas publicadas ou dados validados de levantamento, bem como comparar com dados adjacentes recentemente obtidos. Deve ser efetuada uma análise cuidadosa da comparação das sondas das fiadas principais com as de verificação, devendo ser impresso a estatística e se as diferenças forem $>\sqrt{2}$ vezes o balanço de erro da sonda previsto (*sounding error budget*) devem ser investigadas.

As marés observadas pelos marégrafos ou escala de marés devem ser reduzidas ao *Datum* da sondagem nas estações maregráficas utilizando os valores obtidos quando estes foram instalados. Qualquer fator cotidal em tempo e amplitude deve ser aplicado de forma a reduzir a sondagem aos valores da maré na área sondada.

Uma comparação diária entre o marégrafo e a escala de marés deve ser realizada através da comparação simultânea das leituras. Após redução para o *Datum* da sondagem, devem ser efetuadas leituras simultâneas do marégrafo e da escala de marés para garantir que o marégrafo se encontra a funcionar corretamente.

As leituras reduzidas dos marégrafos devem ser comparadas graficamente com a curva de maré esperada para a estação maregráfica de forma a assegurar a coerência dos dados e garantir que o marégrafo se encontra a funcionar corretamente. A não ser que se esperem anomalias nas curvas de maré, estas podem ser suavizadas, os saltos grandes e repetitivos devem ser referidos no Relatório do Levantamento e o marégrafo verificado para detectar qualquer mau funcionamento.

Quando se utilizam *links* telemétricos com marégrafos estabelecidos, deve ser efetuada uma comparação dos valores reais do marégrafo e os telemétricos durante o período de 25 horas de comparação entre a escala de marés e o marégrafo, e depois, em intervalos durante todo o levantamento.

A densidade de dados deve estar de acordo com os requisitos para a detecção de objetos, o que determinará o tamanho da grelha a ser utilizada. Nos levantamentos para a cartografia náutica o critério usualmente utilizado é a detecção das sondas mínimas, porém, há ocasiões em que a profundidade média será adequado. As Especificações Hidrográficas e a política do Serviço Hidrográfico devem fornecer orientações sobre os requisitos.

As Especificações Hidrográficas deverão detalhar a apresentação do produto final do levantamento incluindo os intervalos das isóbatas. No entanto, deve ser feito pleno uso das inúmeras ferramentas de visualização disponíveis para ajudar na verificação e no CQ do levantamento. Alguns dos formatos de visualização são:

a) Impressões de sondas;

b) Impressões das isóbatas;

c) Visualização digital a cores das sondas e isóbatas;

d) Modelo batimétrico colorido a 3 D;

e) Modelo batimétrico escala cinza a 3 D iluminado.

Se forem criados modelos batimétrico escala cinza a 3 D iluminados, a superfície deve ser visualizada a partir de 2 direções perpendiculares de forma a destacar as anomalias ou artefatos que possam necessitar de uma investigação mais aprofundada.

Devem ser efetuadas anotações de todas as características e profundidades mínimas para comparação com os registos sonar, se estes forem obtidos. Em qualquer caso, deverá ser feita uma avaliação de forma a saber se é necessária uma investigação mais aprofundada.

6.2. Caracterização do fundo marinho

Os dados da textura deduzidos do registo sonar ou do *backscatter* serão conjugados num mosaico quer utilizando um sistema automático ou criando um desenho à mão da textura do fundo. Em ambos os casos a interpretação será guiada pela grelha das amostras de fundo efetuadas no início do levantamento.

Os detalhes iniciais devem incluir a batimetria das cristas das dunas *(sandwaves*), a posição das obstruções com as respectivas alturas e o início e o fim dos afloramentos rochosos e picos. O detalhe da textura deve ser impressa para definir os limites da textura. Devem ser tidos em conta cuidados para assegurar a conformidade dos detalhes da textura com as áreas previamente sondadas.

Irão ocorrer situações onde serão necessárias amostras adicionais do fundo para esclarecer a textura complexa do fundo. Deverão ser obtidas amostras adicionais em quantidade suficiente até atingir um grau de confiança de que o fundo se encontra classificado com exatidão.

A qualidade e a totalidade da cobertura sonar devem ser determinadas através da inspeção de:

a) Uma impressão do trajeto da embarcação, as inspeções irão revelar se existem lacunas de cobertura devido à deficiente manutenção da embarcação na fiada ou de velocidade excessiva de reboque, estas lacunas devem ser efetuadas novamente;

b) O controlo de qualidade dos dados de cada fiada que irão indicar se a velocidade máxima do reboque foi excedida, as áreas onde se excedeu a velocidade devem ser efetuadas novamente;

c) Os registos sonar devem ser inspecionados para garantir que o peixe rebocado foi implantado à altura correta acima do solo e que os dados gravados são bons. Quaisquer áreas com dados suspeitos devem ser levantadas novamente.

6.3. Detecção de Objetos (estruturas)

Os destroços ou obstáculos artificiais que se elevam do fundo podem constituir um perigo para os navios ou submarinos a navegar nas áreas ao longo plataforma continental. Todos estes objetos devem ser localizados, examinados e registados.

Durante a primeira varredura sonar da área, têm de ser cuidadosamente analisados os registos sonar e todos os contactos são susceptíveis de representar obstruções que devem ser cuidadosamente anotados. Os contactos devem ser registados metodicamente com:

a) Número do registo;

b) Dia juliano e horas;

c) Número do contacto (deve ser consecutivo durante o levantamento);

d) Detalhes de posição;

e) Canal estibordo/bombordo;

f) Distância inclinada (*Slope range*);

g) Inclinação (*layback*);

h) Altura do peixe acima do fundo;

i) Avaliação do contacto;

j) Outras ações necessárias (isto é, investigação, adensamento, examinação rápida, nenhuma ação futura).

O registo do magnetómetro e os dados da profundidade devem ser cuidadosamente examinados para fornecer elementos de prova.

Para completar um exame, os registos devem ser cuidadosamente verificados para assegurar que o processo foi conduzido cuidadosamente. Os seguintes pontos devem ser considerados ao avaliar o detalhe de um exame:

a) Desde que um destroço, áreas de fundo sujo ou obstruções continuarem a ser um perigo para a navegação ou para qualquer outra atividade marítima, estes devem aparecer na carta;

b) Quaisquer objetos descritos como ecos não identificados "*non-sub*" ou que constituam áreas de fundo sujo devem ser encontrados, classificados, determinada a sua posição e registados; deve ser esclarecido se são perigos ou não para a navegação;

c) A responsabilidade é a de classificar ou refutar todos os destroços cartografado, áreas de fundo sujo, obstruções ou entre em contactos anteriormente descritos como "*non-sub*", a não ser que sejam refutados sem margem para dúvidas, eles devem permanecer na carta.

O exame satisfatório de cada objeto significativo localizado durante um levantamento é um fator importante na decisão se uma área foi totalmente coberta.

6.4. Observações auxiliares/diversas

As correntes de marés recolhidas durante o levantamento, independentemente do método utilizado, devem ser avaliadas quanto à sua solidez e consistência. Caso existam dados anteriores das correntes de marés, as novas observações devem ser comparadas de forma a garantir a continuidade e homogeneidade. Quando não existem dados anteriores, as observações devem ser inspecionados para garantir que estão de acordo com as correntes de maré sentidas durante o levantamento, podendo ser avaliadas a partir da comparação entre a proa verdadeira e velocidade de superfície em relação ao rumo e velocidade verdadeira.

É usual que a análise dos dados observados das correntes de marés para inclusão em cartas seja efetuado pelo Serviço Hidrográfico.

A posição média das ajudas à navegação flutuantes deve ser observada durante a baixa-mar e preia-mar, a não ser que a posição da poita possa ser deduzidos a partir da batimetria.

A posição, característica, sectores e descrição física de cada ajuda à navegação fixa ou flutuante deve ser comparada com a publicada na carta e com a Lista de Luzes para verificação de erros grosseiros. È importante verificar se as posições derivadas das ajudas à navegação cumprem os requisitos estabelecidos.

A lista final das ajudas à navegação fixas e flutuantes observadas e verificadas durante o levantamento devem ser comparadas com a lista original criadas a partir das cartas publicadas, Lista de Luzes, em conformidade com o parágrafo 4.8.3, de forma a assegurar a cobertura completa de todas as ajudas à navegação.

Quaisquer alterações aos dados publicados e confirmadas pelas autoridades competentes em conformidade com o ponto 4.8.7, devem ser comunicadas imediatamente por mensagem/e-mail para o Serviço Hidrográfico e acompanhado posteriormente por uma nota hidrográfica.

Os detalhes das operações rádio portuárias obtidas durante o levantamento, de acordo com o ponto 4.8.8, deverão ser verificados com a Lista de Radioajudas.

Devem ser entregues os pormenores de qualquer vida marinha, bioluminescência, *secchi*, observações das camadas profundas. Detalhes de outras características tais como pequenas marcas, lagos salgados e qualquer amostra de sedimento deve ser fornecida com uma descrição de como as observações foram efetuadas.

Se as frentes oceânicas, turbilhões (*eddies*) ou ondas internas tiverem sido investigados, devem ser fornecidos os detalhes da sua localização, o tipo de características, os métodos utilizados e os sensores empregues. Comentar sobre a forma como os dados foram entregues bem como todas as conclusões efetuadas.

6.5. Conformidade com o Planeamento

Deve ser efetuada uma avaliação da plenitude do levantamento e sua conformidade com a Especificação Hidrográfica e com o planeamento original. Quaisquer áreas que exijam uma investigação mais aprofundada, incluindo as áreas com cobertura incompleta ou onde os requisitos das Especificações Hidrográficas não tenham sido alcançados devem ser identificadas e quais são as ações necessárias para corrigir as deficiências que podem ser devido a limitações dos equipamentos ou condições físicas. Qualquer novo trabalho necessário deve ser realçado e devem ser efetuadas recomendações da forma como pode ser abordado com êxito no futuro.

7. ENTREGA DOS DADOS

7.1. Relatório do Levantamento

Quando qualquer tipo de material do levantamento é entregue ao Serviço Hidrográfico, este deve ser acompanhado de um relatório explicando como foi obtido. Em alguns casos, como nas Notas Hidrográficas, podem ser relativamente breves, mas na grande maioria dos casos o Relatório do Levantamento é a parte crucial dos dados do levantamento, devendo referir cada aspecto do levantamento e todos os outros dados a serem entregues com ele. Para levantamentos batimétrico convencionais, muitas vezes é dividido em duas partes; um exemplo do seu conteúdo está contido no Apêndice 2 do presente Capítulo.

O Relatório do Levantamento é o principal meio pelo qual o hidrógrafo responsável aprova o conteúdo de TODOS os registos do levantamento sendo portanto um documento muito importante, no qual o hidrógrafo deve ter um considerável cuidado na sua apresentação. Este deve ser claro e abrangente na forma como o levantamento foi realizado, dos resultados alcançados, as dificuldades encontradas e as lacunas. Na 1ª Parte deve ser dado ênfase à análise das exatidões alcançadas e se foram alcançados os requisitos das Especificações Técnicas e da Publicação da OHI S-44. A 2ª Parte contém a discussão técnica necessária para apoiar as opiniões expressas na 1 Parte. Deve-se ter em mente que, muitas vezes, é tão importante dizer o que não foi feito e porquê, como dizer o que foi feito e como.

Um relatório minucioso do levantamento pode reduzir a necessidade de troca de correspondência posterior entre o Serviço Hidrográfico e unidade que efetua o levantamento, caso contrário esta pode ser necessária para elucidar questões que não foram cobertas num relatório menos exaustivo. O exemplo no Apêndice 2 apresenta um esboço do material de que é aconselhável incluir, juntamente com um formato adequado para levantamentos batimétricos. Nos parágrafos que não

são aplicáveis a um determinado tipo de levantamento é útil a utilização de uma breve declaração do tipo “Não foram efetuadas observações de ……….”.

O Relatório do Levantamento é um registo significativo do levantamento, tal como qualquer outro e deve ser compilado e apresentado com a mesma cautela, cuidado e exatidão. O modo e o formato de como o Relatório do Levantamento é entregue ao Serviço Hidrográfico irá variar de acordo com os requisitos nacionais.

O Relatório do Levantamento e os respectivos dados associados serão entregues ao Serviço Hidrográfico, onde serão submetido a um rigoroso processo de avaliação e validação. Recomenda-se que uma cópia completa dos dados seja mantida na unidade que efetuou o levantamento até que todas as perguntas sejam respondidas. Deve ser lembrado que o Relatório e o conjunto de dados verificados serão arquivados e permanecerão a título definitivo como uma fonte de dados para a criação de produtos futuros.

7.2. Requisitos dos Dados

As Especificação Técnicas irão articular a razão para efetuar o levantamento e os requisitos primários dos produtos para o cliente, ou seja, levantamentos para a segurança da navegação ou para colocação de oleodutos/cabos submarinos que originaram batimetria, levantamentos arqueológicos ou guerra de minas que originaram a detecção de objetos enquanto levantamentos ambientais podem originar textura dos fundos marinhos e da coluna água. O Serviço Hidrográfico deve detalhar os dados que devem ser entregues após a conclusão do levantamento e qual o período de tempo.

7.3. Formato e Densidade dos Dados

A maioria das organizações hidrográficas tem normas detalhadas para o formato e a densidade dos dados de forma a satisfazer os seus requisitos. As Especificações Hidrográficas devem detalhar quaisquer variações no formato dos dados a estas normas, o que dependerá dos sistemas utilizados no levantamento e dos sistemas disponíveis para verificação e validação dos dados entregues. As modificações à densidade dos dados serão estipuladas nas Especificações Hidrográficas.

As ferramentas de visualização modernas têm permitido uma maior flexibilidade na apresentação de dados para o hidrógrafo tanto gráfica como digitalmente. Devem ser tidos cuidados para garantir que a prudência inerente dos levantamentos hidrográficos não é ofuscada por o imagens coloridas que podem ser criadas com relativa facilidade e com pouca interação humana.

7.4. Requisitos de Média

As Especificações Hidrográficas detalharão em que tipo de formato média os dados do levantamento devem ser entregues, dependendo se o cliente pediu o levantamento digital completo ou pranchetas especificas. Os média mais utilizados são:

a) DVD;

b) CD-ROM;

c) Cassete DAT;

d) Películas gravadas Ozatex / Cronaflex;

e) Registos em papel.

Qualquer que sejam os média utilizados, deve ser tomado muito cuidado com a transmissão e o tratamento para garantir que os dados chegam ao seu destino final incorruptíveis e intactos. Grande parte dos dados serão únicos e irão formar a base para alteração e manutenção das cartas e publicações até que a área seja novamente levantada (muito provavelmente muitos anos depois) passando a fazer parte do registo dos arquivos públicos da nação. Como tal, este material deverá ser guardado com o maior grau de segurança para evitar que se perca uma parte ou a totalidade, o que seria claramente muito dispendioso em tempo, esforço e material.

REFERÊNCIAS

Edition 1/04 2004	*Hydrographic Quality Assurance Instructions for Admiralty Surveys*	UK Hydrographic Office
17th Edition 1996	*General Instructions for Hydrographic Surveys*	UK Hydrographic Office
11th Section 1968	*Admiralty Manual of Hydrographic Surveying Volume 1*	UK Hydrographic Office
1969 to 1973	*Admiralty Manual of Hydrographic Surveying Volume 2*	UK Hydrographic Office
PP24 (Parts 1 & 2) 1987	*The Use of Side-scan Sonar for Hydrographic Surveying and the Gathering of Bottom Texture Information*	UK Hydrographic Office
5th edition – 1994	*"Hydrographic Dictionary" S–32*	International Hydrographic Organization, Monaco
5th edition – 2008	*"IHO Standards for Hydrographic Survey" S–44*	International Hydrographic Organization, Monaco
1 January 2002	*EM 1110-2-1003"Hydrographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
1 July 2003	*EM 1110-1-1003"NAVSTAR Global Positioning System Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
Fourth Edition 4 July 1976	*"Hydrographic Manual"*	Melvin J. Umbach Rockville, Md. U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS)
March 2003	*NOS Hydrographic Surveys "Specifications and Deliverables"*	U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS)
A.A. 2002/2003	*"Lezioni di Idrografia teorica ed operativa"*	Luigi Sinapi Napoli
1976	*"Electronic Surveying and Navigation"*	Simo H. Laurila John Wiley & Sons, Inc New York (USA)
January 1983	*"Electronic Surveying in practice"*	Simo H. Laurila John Wiley & Sons, Inc New York (USA)
1991	*"Radionavigation system"*	Börje Forssell Prentice Hall International (UK) Ltd
July 1974	*"Sea Surveying"*	Alam E. Ingham John Wiley & Sons, Inc New York (USA)

BIBLIOGRAFIA

Edition 1/04 2004	*Hydrographic Quality Assurance Instructions for Admiralty Surveys*	UK Hydrographic Office
17th Edition 1996	*General Instructions for Hydrographic Surveys*	UK Hydrographic Office
11th Section 1968	*Admiralty Manual of Hydrographic Surveying Volume 1*	UK Hydrographic Office
1969 to 1973	*Admiralty Manual of Hydrographic Surveying Volume 2*	UK Hydrographic Office
PP24 (Parts 1 & 2) 1987	*The Use of Side-scan Sonar for Hydrographic Surveying and the Gathering of Bottom Texture Information*	UK Hydrographic Office
PP25 1990	*The assessment of the Precision of Soundings*	UK Hydrographic Office
1998	*"La georeferenziazione delle informazioni territoriali"*	Luciano Surace Estratto dal "Bollettino di geodesia e scienze affini"
Prima Edizione – 2000	*"GPS Principi Modalità e Tecniche di Posizionamento"*	A. Cina Celid
Prima Ristampa – 2001	*"Topografia"*	L. Costa Cooperativa Libraria Universitaria – Genova
Terza Edizione – 1949	*"Manuale di Idrografia per la costruzione delle carte marine*	Manoia G. Romagna Accademia Navale di Livorno
II 3100. Quinta Edizione – 1992/Prima Ristampa – 1998	*"Manuale dell"Ufficiale di Rotta"*	Istituto Idrografico della Marina, Genova
NorMas FC 1028 Seconda Edizione – 1978	*"Norme di Massima per i Rilievi Idrografici"*	Istituto Idrografico della Marina, Genova
5th Edition – 1994	*"Hydrographic Dictionary" S–32*	International Hydrographic Organization, Monaco
5th Edition – 2008	*"IHO Standards for Hydrographic Survey" S–44*	International Hydrographic Organization, Monaco
1 January 2002	*EM 1110-2-1003 "Hydrographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
1 June 2002	*EM 1110-1-1004 "Geodetic and Control Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
1 July 2003	*EM 1110-1-1003 "NAVSTAR Global Positioning System Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
31 August 1994	*EM 1110-1-1005 "Topographic Surveying"*	U.S. Army Corps of Engineers, Department of the Army, Washington.
Fourth Edition 4 July 1976	*"Hydrographic Manual"*	Melvin J. Umbach Rockville, Md. U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS)
March 2003	*NOS Hydrographic Surveys "Specifications and Deliverables"*	U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Ocean Service (NOS)

A.A. 2002/2003	“*Lezioni di Idrografia teorica ed operativa*”	Luigi Sinapi Napoli
1976	“*Electronic Surveying and Navigation*”	Simo H. Laurila John Wiley & Sons, Inc New York (USA)
January 1983	“*Electronic Surveying in practice*”	Simo H. Laurila John Wiley & Sons, Inc New York (USA)
1991	“*Radionavigation system*”	Börje Forssell Prentice Hall International (UK) Ltd
July 1974	“*Sea Surveying*”	Alam E. Ingham John Wiley & Sons, Inc New York (USA)

APÊNDICE 1 - PLANEAMENTO DO LEVANTAMENTO E GUIA DE ESTIMATIVAS

PARTE I ACÇÕES DE PRÉ LEVANTAMENTO

1. Pode-se efetuar a calibração e validação do posicionamento nas proximidades da área do levantamento?
Se não, calibrar o mais próximo possível da área.
Pode-se enviar antecipadamente uma equipa de reconhecimento? Se sim, o tempo de reconhecimento requerido no passo 3 irá ser reduzido.

2. Tempo estimado da partida do porto base ....
Duração do transito em horas ....
Requeridas observações no trânsito? Sim / Não
Tempo estimado de chegada à área do levantamento ....
NOTA: Reservar tempo para testes e afinação de sensores durante o trânsito.

3. Estabelecimento de contactos e reconhecimento do local. ..... dias
Calibração dos sistemas de posicionamento se necessário.
Pode(m) se instalar marégrafo(s)/escala(s) de maré simultaneamente?
Se sim, cancelar o passo 4.

4. Estabelecer estação(ões) maregráficas. ..... dias

5. Estabelecimento de um controlo geodésico adequado. ..... dias
(incluir observações GPS, se necessário)
e estabelecer ajudas à navegação para iniciar as atividades com o navio/embarcações.
Pode ser efetuado simultaneamente com o passo 3 e 4?
Se sim, cancelar o passo 5.

6. Calibrar o sistema de posicionamento dentro dos limites da área do levantamento.
Número de estações de calibração ....
Tempo por estação .... Total ...... horas
Tempo de trânsito entre estações .... horas

Total......../24 ..... dias

7. Obter um primeiro conjunto de observações da velocidade de propagação do som na água ao longo da área do levantamento.
Pode ser combinado com a calibração das ajudas à navegação?
Se sim, cancelar o passo 7. ..... dias

TOTAL ..... dias A*

PARTE II TOTAL DE MILHAS PERCORRIDAS

Comprimento médio das fiadas principais de sondagem/sonar ....mn x nº de fiadas principais.....

Dividir pela velocidade de sondagem planeada ......nós =

tempo necessário .... horas

Tempo de guinada no fim das fiadas ...... mins x nº de fiadas/60 .... horas

subtotal (i) .... horas

Repetir para as fiadas em espaço aberto subtotal (ii) .... horas

Fiadas intermédias subtotal (iii) .... horas

Fiadas de verificação subtotal (iv) .... horas

Outras fiadas de sondagem subtotal (v) .... horas

SUBTOTAL (navio) .... horas

% para verificação de sondas duvidosas .... adicionado para obter TOTAL (navio) ..... horas

Dividir pelo nº de horas produtivas por dia (alguma restrição?)

TOTAL (navio) .... dias B*

Repetir a avaliação para as embarcações de sondagem TOTAL (embarcação) .... dias C*

Pode-se efetuar simultaneamente o trabalho com o navio e as embarcações? Se sim, o total em C pode ser reduzido (incluir no planeamento o maior dos totais B ou C, desde que o trabalho do navio e das embarcações não seja mutuamente exclusivo).

OU

Para cruzeiros oceanográficos o cálculo incidirá sobre o número de estações de observação, o tempo de condução cada uma observação e o tempo de trânsito entre as estações. Da mesma forma, o formato anterior pode ser adaptado para levantamentos geofísicos.

PART III OUTRAS OBSERVAÇÕES A BORDO

Nº de amostras de fundo ....x tempo por amostra mins/60 =........horas

Distância entre amostras........mn x nº /SOA(...nós) =........horas

Total/horas produtivas por dia = ...dias D*

Nº de navios naufragados necessitando de rocega com cabo ....

Nº de navios naufragados rocegados por dia........................... Subtotal .....dias

Nº de navios naufragados a requerer investigação.................

Tempo por investigação mais tempo de trânsito.............horas

Dividir por horas produtivas por dia .... para dar Subtotal......dias

Repetir para buscas de confirmação Subtotal......dias

TOTAL ....dias E*

Nº de observações de correntes de maré ....

Tempo por observação mais trânsito ....horas/24 TOTAL.........dias F*

Nº de bóias a coordenar................

Tempo por bóia (vazante e enchente) mais trânsito ....

Tempo total dividido por horas produtivas por dia TOTAL ....dias G*

Outras observações tais como Recolhas Fotográficas e Tarefas Diversas

TOTAL ....dias H*

Total do trabalho de campo a bordo B* a H* TOTAL.........dias I*

NOTA. Se a embarcação poder ser usada para alguns destas observações, o tempo total será reduzido nessa proporção. De notar que um dia produtivo de trabalho para uma embarcação irá raramente ultrapassar as 6 horas. Da mesma forma, se houver mais do que uma unidade disponível para o levantamento, o tempo total gasto será reduzido. Neste caso, é prática frequente dividir a área total em subáreas e atribuí-las a unidades individuais, assegurando uma adequada sobreposição para fins de comparação. Cada unidade terá então de efetuar o processo de planeamento detalhado para a sua própria subárea.

PARTE IV TRABALHO DE CAMPO EM TERRA

Adicionalmente ao controlo geodésico inicial em terra, deve ser considerado o seguinte:

Tempo dispendido a alargar o controlo geodésico ......dias

Tempo dispendido a coordenar outros objetos ......dias

Nº de milhas da linha de costa a ser topografada/ milhas por dia ......dias

TOTAL.…..dias J*

Se I* for maior que J*, então J* será abreviado ao tempo disponível para trabalho de campo a bordo. Um planeamento cuidadoso irá reduzir o tempo de trânsito improdutivo para deixar equipas em terra, etc.

Tempo para calibrações após o Levantamento e recolha de equipamentos ....dias K*

TOTAL DO TRABALHO DE CAMPO = B* + I* (ou J, for maior)+K* …....dias L*

PARTE V TEMPO PERDIDO

Existem uma série de fatores que irão aumentar o tempo necessário para concluir o levantamento. A lista seguinte apresenta algumas das considerações de planeamento, mas poderão existir outras questões relevantes (por exemplo, trabalhar em gelo consistente):

Estimativa:

Dias perdidos devido ás condições meteorológicas (e.g. Inverno 25%? Verão 10%?) ......dias

Dias perdidos devido a avarias (Idade/estado de reparação/tempo?) ......dias

Dias “perdidos” devido a atividades extra levantamento planeadas ......dias

Dias perdidos devido a atividades não planeadas (e.g. 10%) ......dias

TOTAL TEMPO PERDIDO ......dias M*

TOTAL DE DIAS EM TERRA = L* + M* ....DIAS

TOTAL DE DIAS DO LEVANTAMENTO = A + L + M + Tempo de trânsito de e para a área do levantamento.

APÊNDICE 2 – TABELA 1 - SISTEMAS DE POSICIONAMENTO HORIZONTAL E CRITÉRIOS DE SELECÇÃO

TABELA 1

Sistemas de Posicionamento Horizontal e Critérios de Seleção

Sistema de Posicionamento	Exatidão Posicional estimada em metros (a um nível de confiança de 95%)	Permitidos por Ordem do Levantamento			
		Especial	1	2	3
Intersecção LOP ângulos de sextante	2 – 10	Não	Não	Sim	Sim
Intersecção de ângulos de teodolitos	1 – 5	Sim(*)	Sim	Sim	Sim
Intersecção Visual/Distância	3 – 10	Não	Não	Sim	Sim
Linha de distâncias (dinâmica) < 200 metros da linha de base > 200 a < 600 metros da linha de base > 600 metros da linha de base	1 – 2 2 – 6 6 – 50	Sim Não Não	Sim Sim(*) Não	Sim Sim Sim(*)	Sim Sim Sim
Intersecção Ângulos/Distâncias	0.5 – 3	Sim(*)	Sim	Sim	Sim
EDM/Estação Total (até 2 Km. da est. ref.)	0.3 – 1	Sim	Sim	Sim	Sim
EDM/ Estação Total (para além de 2 Km. da est. ref.)	1 – 3	Não	Sim	Sim	Sim
SPE de Alta Frequência (Microondas/UHF)	2 – 4	Não	Sim	Sim	Sim
SPE de Média Frequência (HF)	3 – 10	Não	Sim(*)	Sim	Sim
SPE de Baixa Frequência (LF – Decca)	10 – 150	Não	Não	Sim	Sim
SPE de Muito Baixa Frequência (VLF-Loran)	45 – 310	Não	Não	Não	Sim(*)
STARFIX	5	Não	Sim(*)	Sim	Sim
GPS em modo absoluto SPS (com S/A até Maio 2000)	75 – 100	Não	Não	Não	Sim
GPS em modo absoluto SPS (sem S/A)	10 – 30	Não	Não	Sim(*)	Sim
GPS em modo absoluto PPS	5 – 15	Não	Sim(*)	Sim	Sim
DGPS observação código da est. ref. local 0 Km. < Distância < 2 Km. 2 Km. < Distância < 100 Km.	2 – 5	Sim(*) Não	Sim Sim	Sim Sim	Sim Sim
DGPS observação código (Radiobeacon/WAAS) 0 Km. < Distância < 250 Km. 250 Km. < Distância < 350 Km.	2 – 10	Não Não	Sim Sim(*)	Sim Sim	Sim Sim
RTK DGPS observação da fase da portadora da est. ref. local. 0 Km. < Distância < 20 Km. 20 Km. < Distância < 40 Km.	0.1 – 1	Sim Não	Sim Sim	Sim Sim	Sim Sim

(*) Marginalmente

APÊNDICE 3 – TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE POSICIONAMENTO ELETRÓNICOS UTILIZADOS EM LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS POR LARGURAS DE BANDA

TABELA 2

Largura de Banda	Símbolo	Frequência	Sistema
Muito Baixa Frequência	VLF	10-30 KHz	Omega
Baixa Frequência	LF	30-300 KHz	LORAN-C
Média Frequência	MF	300-3000 KHz	Raydist, Decca
Alta Frequência	HF	3-30 MHz	Frequência Fundamental da terra 10.23 MHz
Muito Alta Frequência	VHF	30-300 MHz	VOR navegação das aeronaves
Ultra Alta Frequência	UHF	300-3000 MHz	Del Norte
Banda-L			NAVSTAR GPS
Super Alta Frequência	SHF	3-30 GHz	(SPE Microondas)
Banda-C			Motorola
Banda-S			Cubic
Banda-X			Del Norte
Luz visível			EDM*
Luz Laser			EDM
Luz Infravermelhos			EDM, Polarfix

* Instrumento de Medição de Distâncias Eletrónico.

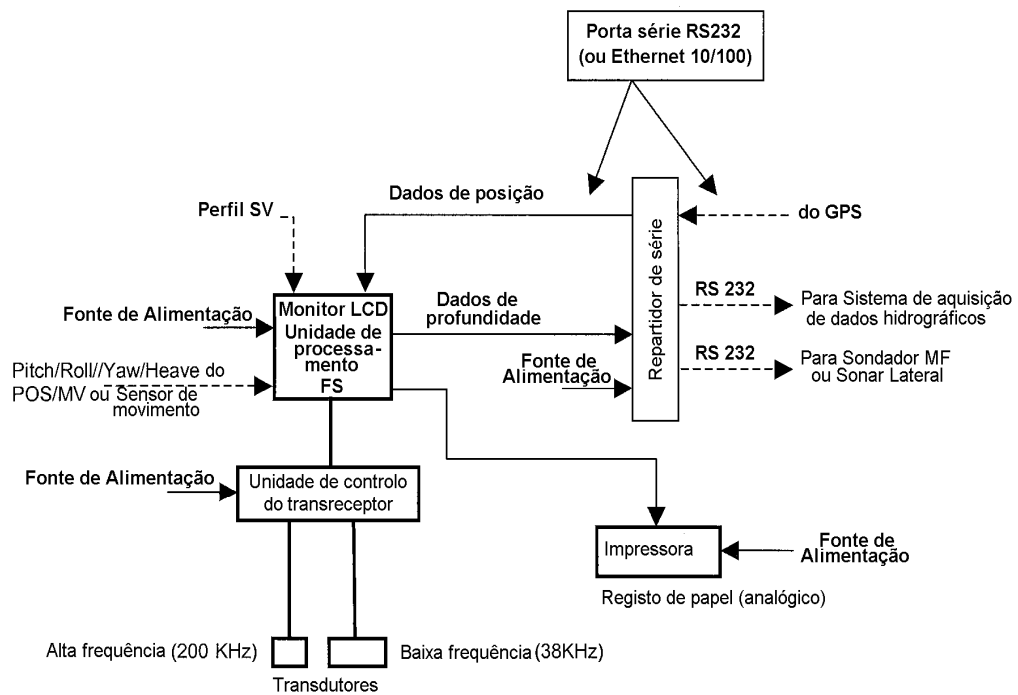
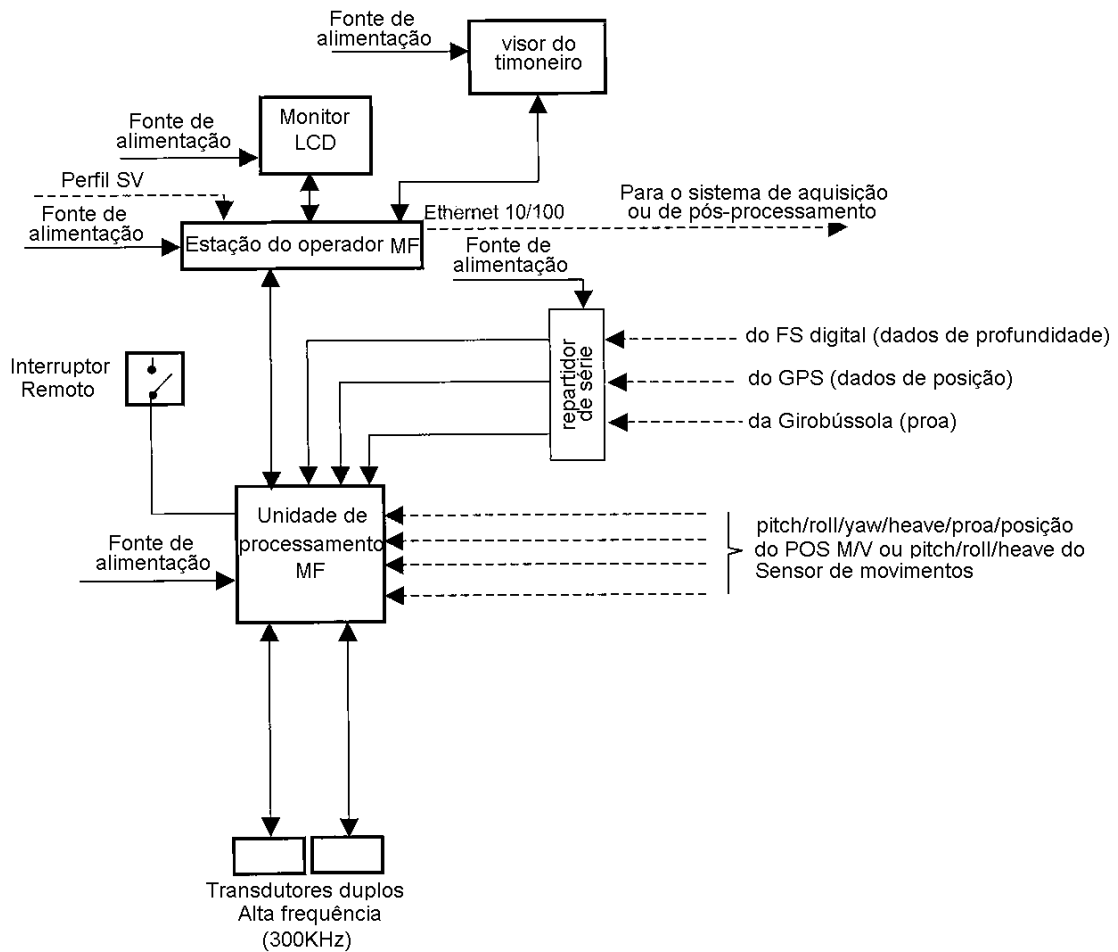
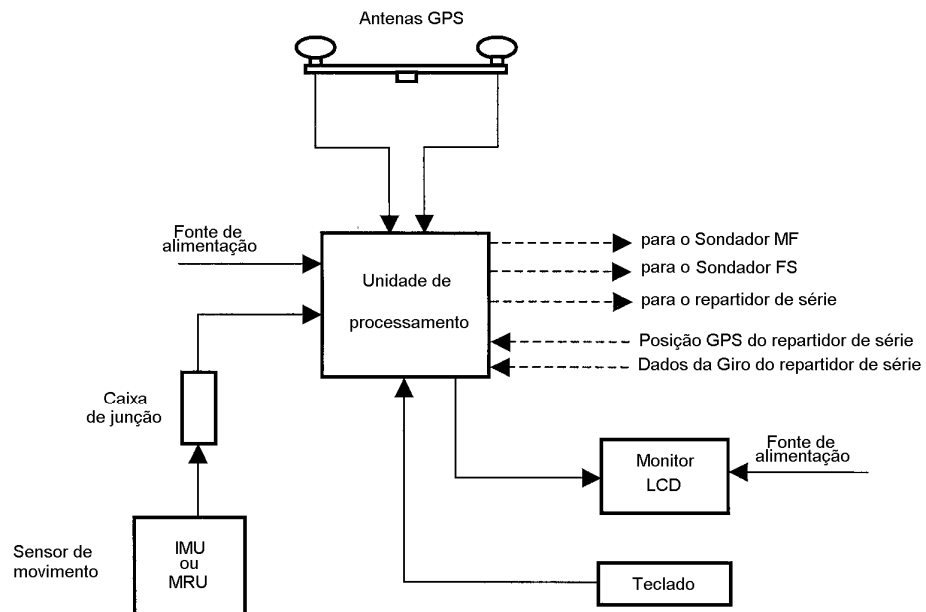
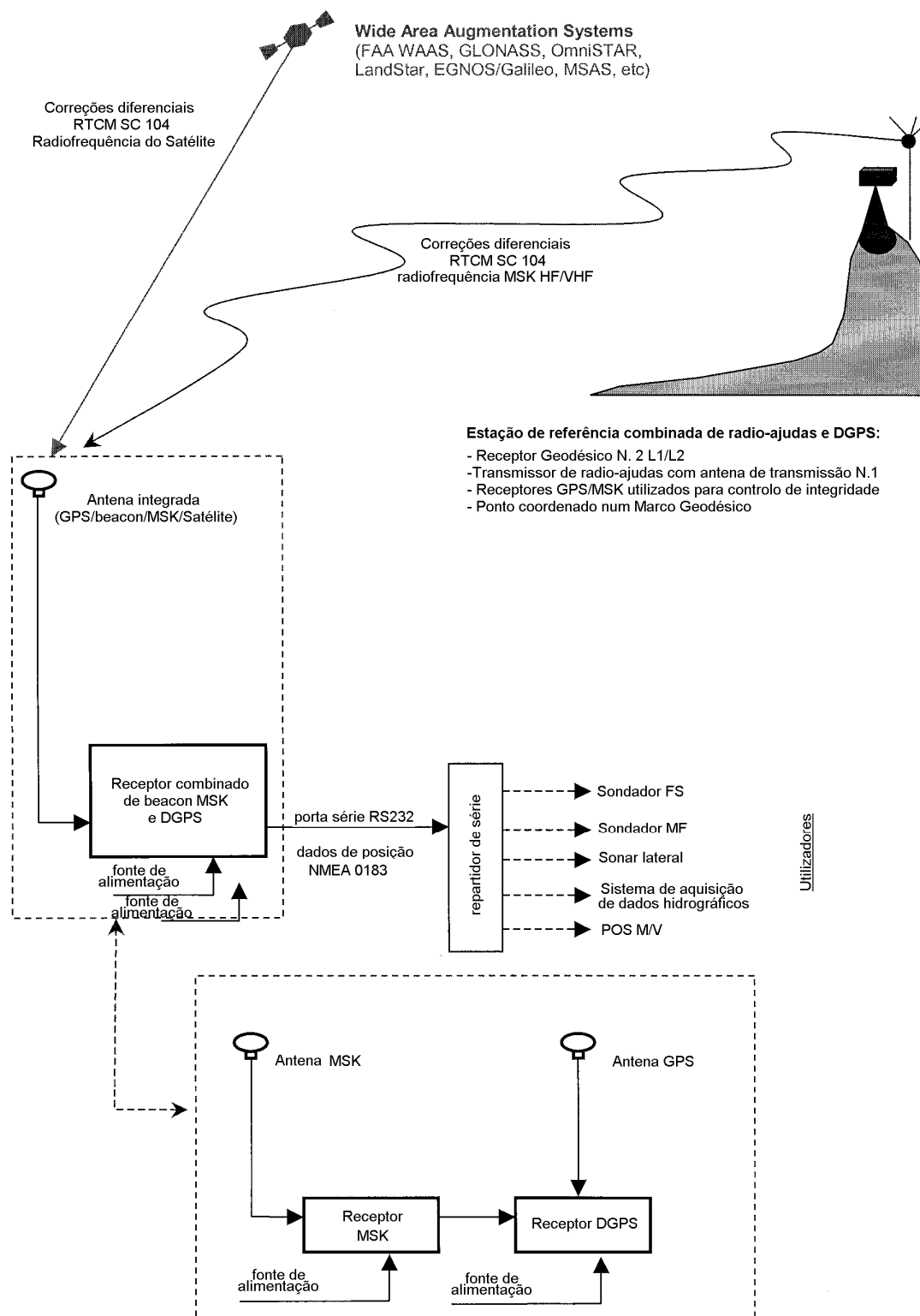
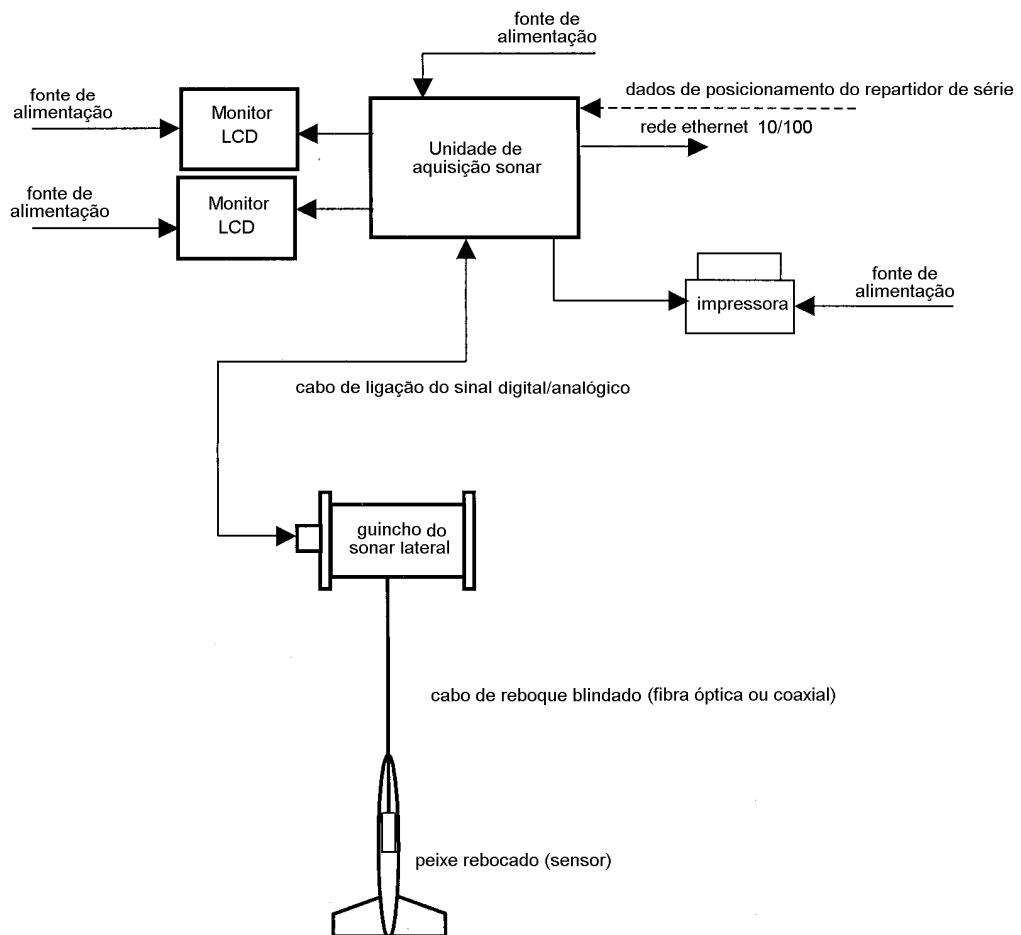
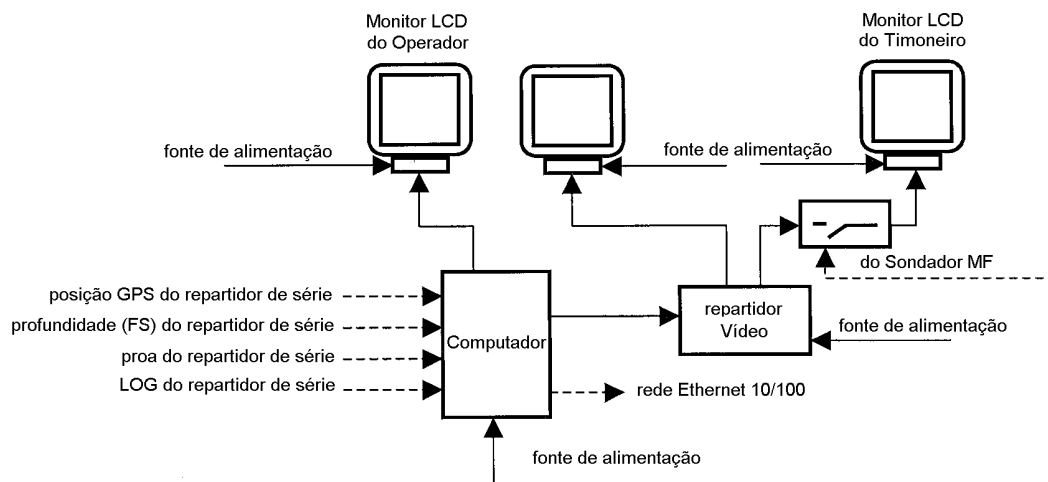
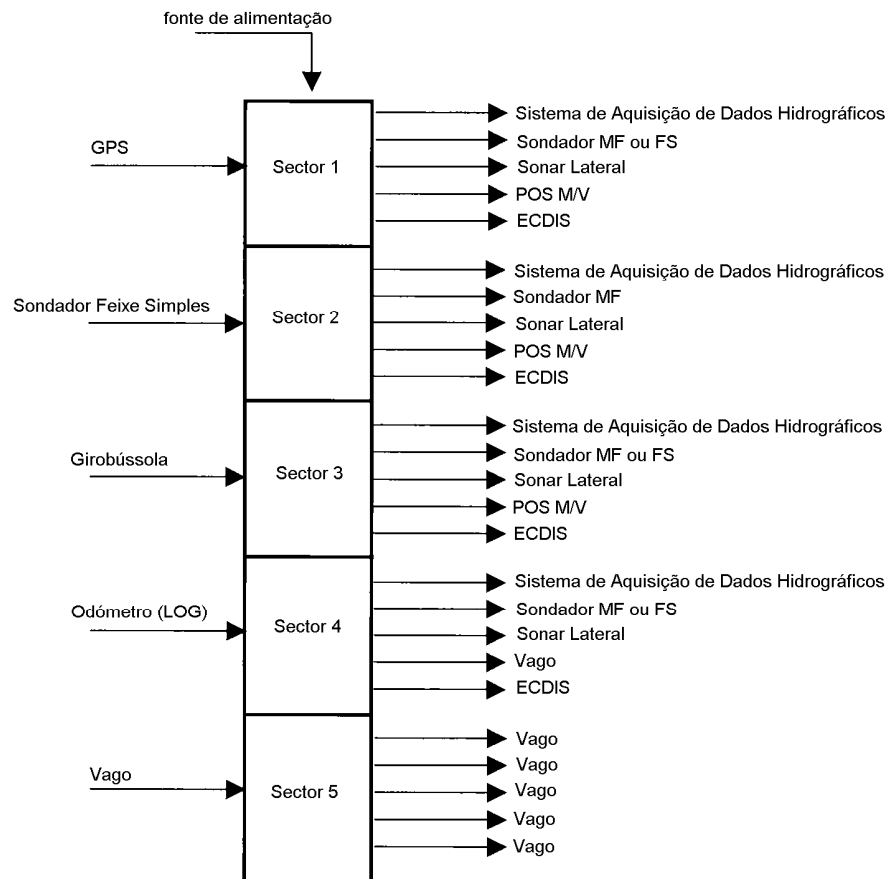
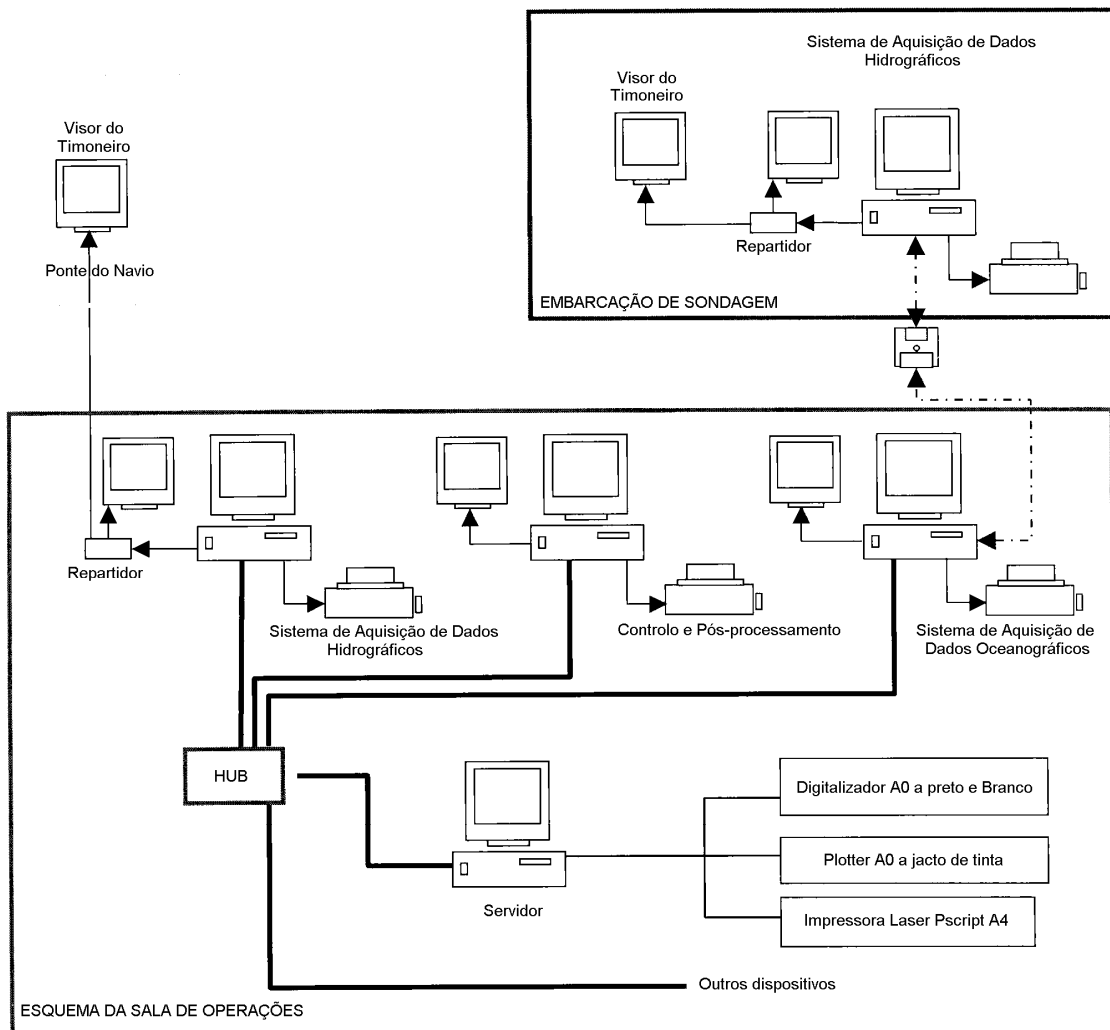
APÊNDICE 3 - TABELA 3 - APLICAÇÕES NO CAMPO DOS SISTEMAS DE POSICIONAMENTO ELETRÓNICOS UTILIZADOS EM LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS

TABELA 3

Gama de Frequência	Tipo de Sistema	Distância de operação	Aplicação no campo
Frequência baixa e média	Fase hiperbólica/ diferenciação do impulso	Podem alcançar para além do horizonte visível ou de microondas	São mais adequados para navegação de longo alcance ou para trabalhos de prospecção geofísica ao largo.
Super Alta Frequência (SHF)	Sistemas de microondas (fase circular)	Geralmente limitado ao alcance visual.	São adequados para controlo preciso de navios de pesquisa a operarem longe da costa e dragas. O alcance é adequado para cobrir a maioria dos rios, portos e aplicações de construções costeiras
Onda de luz modulada e espectro infravermelhos	Instrumentos de Medição de Distâncias Eletrónicos (EDM) (e.g., estações totais eletrónicas)	Limitado a pequenas distâncias, normalmente menos de 3 a 5 milhas da costa	Estes sistemas proporcionam a mais elevada exatidão de medições de distâncias em levantamentos hidrográficos.

____

APÊNDICE 4 – DIAGRAMAS DOS SISTEMAS

Sondador Digital de Feixe Simples (SFS)
Diagrama de Blocos e Ligações

Sondador Digital Multifeixe (SMF)
Diagrama de blocos e Ligações

Sistema Integrado de Posicionamento e Orientação para Embarcações
Diagrama de blocos e Ligações (POS M/V)

Sistema de Posicionamento GPS Diferencial
Serviço DGPS comercial ou Sistemas de difusão por Satélite
Diagrama de blocos e ligações

Sistema de Sonar Lateral
Diagrama de blocos e ligações

Sistema de Aquisição de Dados Hidrográficos
Diagrama de blocos e Ligações

Interface do Repartidor de Série
Diagrama de blocos e Ligações

Configuração Típica dos Sistemas Hidrográficos Automatizados
Diagrama de blocos e Ligações

APÊNDICE 5 - EXEMPLO DO RELATÓRIO DO LEVANTAMENTO

INGLATERRA, COSTA SUL

APROXIMAÇÕES A DEEP WATER SOUND

NAVIO SONDADOR *[Nome]*

LEVANTADO POR *[Nome do Hidrógrafo]*

[Data do Início e Fim do Levantamento]

1:25 000

RELATÒRIO DO LEVANTAMENTO

[Data do Relatório] *[Número de Referência do Levantamento]*

CONTEÚDO

PARTE 1 – PARTE DESCRITIVA

Secção

PARTE 1

1. Introdução

1.1 Fornecer datas de início e de fim. Mencionar quaisquer atividades de caráter geral que interromperam o andamento do levantamento.

1.2 Fornecer uma descrição geral sobre as condições meteorológicas, incluindo o clima sazonal e as variações experimentadas. Os comentários sobre condições meteorológicas são essenciais quando a sondagem é realizada em áreas críticas e instáveis que necessitam de condições hidrodinâmicas ótimas para se poder determinar a profundidade mínima absoluta sobre cada estrutura. São necessários também comentários sobre a forma como as condições meteorológicas afetaram a qualidade dos dados - por exemplo, movimento do navio e desempenho do compensador da arfagem, a degradação da pesquisa sonar, a estabilidade das ajudas à navegação durante as tempestades, efeito das condições de mar na altura dos bancos de areia.

1.3 Comentar quaisquer atividades alheias (por exemplo, campos de tiro ou atividade piscatória intensa), que influenciaram a execução do levantamento. Mencionar se a força das correntes de maré causaram quaisquer dificuldades particulares. Mencionar eventuais problemas logísticos.

1.4 Opinião geral da plenitude do levantamento. Identificar áreas que necessitem de mais sondagens posteriores.

2. Controlo Geodésico

Referir a quantidade de marcas de controlo geodésico existentes que foram utilizadas, explicando como qualquer nova marca de controlo foi estabelecida; fornecer um relato geral sobre o grau de exatidão obtido e indicar quaisquer dificuldades encontradas na ligação às marcas de controlo existentes

3. Sistema Digital de Sondagem

3.1 Se apropriado, enunciar quais os sistemas e versões de *software* utilizados. Comentar sobre eventuais atualizações implementadas no decurso do levantamento, referindo as datas em que foram implementadas.

3.2 Mencionar qualquer dificuldade de maior experimentada ou defeitos que tiveram impacto significativo no decorrer e na qualidade do levantamento, acrescentando uma opinião sobre a eficácia dos sistemas utilizados. Não é necessário incluir detalhes de defeitos menores.

3.3 Deve ser produzida uma declaração afirmando que todas as profundidades significativas detectadas pela sonda estão representadas no registo digital, indicando como isso foi verificado. Caso não seja efetuada esta verificação, deve ser fundamentado o fato.

4. Ajudas à Navegação

4.1 Refira o tipo e os modos de operação dos sistemas utilizados.

4.2 Comentar sobre a geometria da rede utilizada e a distância às estações de referência em relação à área do levantamento, sempre que se utilize uma solução DGPS

de uma rede de estações de referência. Se for utilizada uma solução originada por uma única estação de referência em detrimento de uma solução de rede referir porquê.

4.3 Descrever como e quando os sistemas foram validados e/ou calibrados.

4.4 O hidrógrafo deverá dar o seu parecer sobre a qualidade e a fiabilidade do equipamento, bem como as exatidões alcançadas. Comentar quaisquer períodos em que a qualidade observada no posicionamento foram más. Incluir detalhes de falhas das estações GPS de referência ou de incidências anormais de latência elevada nas correções à pseudo-distâncias.

5. Batimetria

5.1 Referir o tipo de sonda utilizada e as suas frequências de transmissão, especialmente quando são utilizadas duas frequências. Referir o resultado dos testes do caimento dinâmico do navio. Referir o tipo de sensor de movimento utilizado, fornecendo um resumo do seu desempenho.

5.2 Referir o método utilizado para obter a velocidade de propagação do som na água, a frequência das observações e da calibração e opinar sobre a sua exatidão. Se apropriado, referir a velocidade média de propagação do som na água utilizada.

5.3 Referir a direção das fiadas principais, espaçamento entre fiadas e velocidade media de sondagem. Na investigação de baixios, etc, referir a densidade das fiadas e a área de insonificação do feixe no fundo do mar.

5.4 Descrever quaisquer Enfiamentos ou Rotas Recomendadas.

5.5 Apresentar uma estimativa da exatidão global das sondas, chamando à atenção para razões que contribuíram para que a exatidão requerida possa não ter sido alcançada. Incluir uma opinião do rigor do Levantamento com respeito à densidade das fiadas.

(Consultar também o parágrafo 8 (Topografia e Textura dos Fundos Marinhos - Comparação com Levantamentos Anteriores) e o parágrafo 9 (Marés e *Datum* da Sondagem - Análise das intersecções das fiadas de verificação); estes parágrafos terão uma incidência sobre: a exatidão estimada da sonda, a avaliação da exatidão das cartas cotidais, e a opinião geral do Hidrógrafo Responsável sobre a plenitude da batimetria e avaliação da necessidade de trabalho adicional).

6. Sonar

6.1 Referir o tipo de sonar utilizado e a frequência de transmissão.

6.2 Mencionar o tipo e frequência das verificações levadas a cabo. Incluir a opinião do Hidrógrafo sobre a qualidade e fiabilidade do equipamento sonar.

6.3 Referir a escolha efetuada para a direção das fiadas sonar, espaçamento entre fiadas, alcance sonar e SOA média. Referir uma estimativa do efeito das correntes de maré no posicionamento lateral do peixe e descrevendo as precauções tomadas para garantir a cobertura sonar total.

6.4 Referir os resguardos tidos em conta afundamento do sonar no fim das fiadas e se as fiadas extra foram efetuadas fora dos limites da área sondada de forma a garantir a cobertura sonar referida nas especificações técnicas.

6.5 Fornecer a opinião como hidrógrafo relativamente ao rigor da cobertura sonar e uma declaração definitiva da extensão da busca alcançada.

7. Amostras de fundo

7.1 Referir o intervalo de amostragem, comentando qualquer amostra obtida com características interessantes. Descrever quaisquer reservas que o Hidrógrafo tenha tido relativamente à distribuição dos sedimentos como resultado das amostras obtidas. Referir o número de amostras retidas.

7.2 Referir o método de recolha de amostras utilizado, mencionando quaisquer problemas com o equipamento.

8. Topografia e Textura do fundo marinho

8.1 Apresentar um pequeno esboço e breve descrição da topografia do fundo marinho na área do levantamento. O Hidrógrafo Responsável deverá emitir a sua opinião sobre todas as estruturas importantes, a sua natureza e distribuição ao longo da área do levantamento. Comentar as dificuldades enfrentadas na interpretação do rasto sonar (sonar trace) aquando da preparação do desenho das texturas (textures tracing).

8.2 Referir a razão da impossibilidade de investigar exaustivamente um baixio conforme inicialmente pretendido e estimar a fiabilidade da menor profundidade obtida; identificar o trabalho adicional necessário que permita determinar a profundidade mínima absoluta.

> Exemplo: “o baixio foi exaustivamente examinado pela sonda mas devido ao risco de existir um ponta rochosa, deve ser efetuado uma rocega com cabo de forma a garantir que é obtida a profundidade mínima. Condições meteorológicas adversas impediram de ser completado durante o levantamento.”

8.3 Comentar quaisquer áreas com profundidades menores que 40 metros que não foram adensadas (interlined).

8.4 Mencionar atividades de dragagem e áreas de despejo.

8.5 Comentar movimentos de bancos de areia quando comparados com levantamentos anteriores.

8.6 Opinar, como hidrógrafo, sobre os resultados da comparação com o último levantamento, as dúvidas sobre a detecção de todos os baixios existentes, ou dar recomendações para a manutenção de sondas que foram obtidas em levantamentos anteriores. Caso não tenha sido possível verificar, confirmar ou refutar cada estrutura cartografada na área do levantamento, explicar porquê.

8.7 Deverá ser assinalado no Anexo N o fato de não ter sido possível efetuar a sondagem de uma extensão de costa devido a rebentação permanente.

9. Marés e *Datum* de Sondagem

9.1 Referir onde foi estabelecida a estação maregráfica e como o *Datum* de Sondagem foi instituído. Descrever como foi cotado e como foi efetuada a verificação da cota de referência no marégrafo estabelecido.

9.2 Descrever quaisquer transferências de *Datum* ou utilização de cartas cotidais.

9.3 Descrever qualquer ajustamento ao nível do *Datum* de Sondagem considerado necessário durante o decurso da sondagem.

9.4 Referir o tipo de marégrafos e/ou escalas de marés utilizados; referir o período das observações efetuadas e se estas foram analisadas.

9.5 Mencionar qualquer avaria dos marégrafos e quaisquer dificuldades na leitura das marés tais como vaga ou obstruções no poço/sensor.

9.6 Referir o Porto Principal utilizado na previsão das marés, ou descrever as constantes harmónicas utilizadas na previsão das marés.

9.7 Opinar, como hidrógrafo, sobre a exatidão dos nivelamentos utilizados para estabelecer o *Datum* da Sondagem e a exatidão dos dados de marés, quer em termos de altura quer em termos de tempo. Efetuar uma avaliação da exatidão das reduções de marés após a aplicação das correções cotidais, a partir de um exame cuidadoso do cruzamento das fiadas de verificação com as fiadas principais de sondagem. (ver parágrafo 5).

10. Correntes de maré

10.1 Referir onde, quando e como foram efetuadas observações de correntes de maré. Mencionar quaisquer problemas com os equipamentos.

10.2 Explicar a razão pela qual uma estação de observação de correntes maregráfica não foi observada ou foi observada numa posição diferente daquela que foi solicitada.

10.3 Se as observações não foram efetuadas em águas vivas, explicar porque o não foi feito, estimando o efeito consequente na qualidade dos dados. Referir qual a análise efetuada nesta situação.

10.4 Apresentar uma breve sinopse das observações obtidas, fornecendo o parecer do hidrógrafo sobre a exatidão das observações e os efeitos das condições atmosféricas na qualidade dos dados.

10.5 Se não foram efetuadas observações, efetuar uma breve avaliação qualitativa das correntes de marés com base na experiência na manobra das embarcações nas fiadas, ou através dos pescadores ou de outras pessoas com conhecimento do local.

11. Navios afundados e Obstruções

11.1 Referir o método utilizado na investigação de obstruções e navios naufragados, incluindo as técnicas utilizadas para a rocega com cabos e o número de obstruções ou navios naufragados onde foi efetuada a rocega.

11.2 Comentar quaisquer problemas encontrados na obtenção das profundidades mínimas,

> Exemplo: “não foi possível efetuar a rocega com cabo porque o navio naufragado estava num ponto nodal “; ou “o tempo estava mau para efetuar a rocega com cabo mas a profundidade mínima obtida com a sonda foi considerada suficiente”“.

11.3 Providenciar um comentário geral sobre detalhes obtidos a partir dos pescadores ou outros com conhecimento local. Se possível, fornecer um resumo do efeito que certas condições meteorológicas têm sobre os navios naufragados (destroços) e obstruções.

11.4 Explicar a razão pela qual uma determinada rocega com cabo ordenada não foi efetuada.

12. Luzes e Bóias

12.1 Descrever como foi determinada a posição das luzes e verificadas as suas características. No caso de uma nova luz tiver sido estabelecida, esta deve ser integralmente descrita utilizando o formato da Lista de Luzes, bem como o método utilizado para a determinação da sua posição. (Os detalhes das observações para a determinação da posição devem aparecer nos Dados Geodésicos).

12.2 Sempre que possível, a Autoridade responsável pelo estabelecimento de qualquer nova luz ou bóia deve ser mencionada.

12.3 Descrever como foi obtida a posição de cada bóia na enchente e na vazante, mencionando a variação da posição em torno da posição média final.

12.4 Opinar, como hidrógrafo, sobre a exatidão das observações utilizadas para determinar os sectores das luzes e as posições das bóias. Efetuar a confirmação das características das luzes publicadas nas cartas náuticas oficiais na área do levantamento (art. 0309).

13. Linha de costa, Topografia, Distâncias Medidas, Objetos e Marcas Conspícuas

13.1 Referir se a linha de costa foi obtida durante o trabalho de campo e em caso afirmativo qual o método utilizado, ou se foi baseado em:

a. fotografia aérea – dar detalhes

b. mapas – dar detalhes

13.2 Referir como foram obtidas as Alturas. Comentar quaisquer alterações significativas tais como erosão da faixa litoral ou acumulação de sedimentos macios.

13.3 Comentar quaisquer novas construções tais como marinas ou molhes (estas devem ser também incluídas em correções aos Roteiros).

13.4 Comentar quaisquer marcas e distâncias medidas indicando resguardos, enfiamentos ou rotas recomendadas, encontrados ou que se encontram carteados mas que já não são utilizáveis. Incluir uma descrição completa das correções para os Roteiros e no anexo M.

13.5 Mencionar os objetos considerados conspícuos e objetos carteados como conspícuos cuja definição já não é adequada. Incluir estas correções aos Roteiros e anexo M.

13.6 Quando providenciada uma fotografia aérea, descrever a forma como os dados foram verificados no campo, chamando a atenção sobre quaisquer discrepâncias encontradas. Comentar a utilidade geral dessa fotografia.

14. Roteiros e Toponímia

14.1 Referir se não foram necessárias correções ou se estas se encontram contidas no Anexo N. Chamar a atenção para eventuais imprecisões importantes nos Roteiros atuais. Fazer comentários sobre fotografias tiradas e sobre a exatidão daquelas que se encontram atualmente publicadas nos Roteiros. Referir se, na medida do possível, os nomes

carteados foram ou não verificados, apresentando detalhes de como isso foi feito. Quando um conjunto de alterações abranja dois ou mais levantamentos, ou um levantamento onde os dados foram entregues em duas ou mais partes com relatórios separados, deverá ser incluída uma referência em cada um dos relatórios indicando onde podem ser encontradas as correções no Roteiro.

14.2 Comentar quaisquer nomes novos propostos.

14.3 Listar as cópias dos manuais portuários, guias, etc. obtidos durante o decurso do levantamento e enviados com o Relatório do Levantamento.

15. Radioajudas

Providenciar um comentário geral da exatidão dos dados contidos na Lista de Radioajudas referentes á área do Levantamento e portos visitados.

16. Observações Complementares

Descrever as técnicas observadas, opinando sobre a meticulosidade das observações usadas no seguinte:

a. Nascentes de água doce;

b. Cascatas, agueiros de maré (Tide rips) e turbilhões (Eddies);

c. Quaisquer observações cientificas especiais requeridas (e.g. variações magnéticas).

17. Diversos

Comentar quaisquer facetas da execução e resultados do Levantamento que possam ter valor para o Serviço Hidrográfico (IH) ou com interesse histórico quando for revisto em anos futuros.

[Assinaturas]

CONTEÚDO

PARTE 2 – PARTE TÉCNICA

Anexos adicionais, como por exemplo cópias da correspondência com o Instituto Hidrográfico, podem ser adicionadas se pertinentes.

ANEXO A ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Documentos Anexos

A.1 Listar todos os documentos e registos que acompanham o Relatório do Levantamento. Por exemplo:

a. Pranchetas;

b. Traçado da textura do leito marinho;

c. Traçado da trajetória da sondagem;

d. Traçado da trajetória do Sonar;

e. Traçado das Isóbatas;

f. Traçado(s) Diversos – Correções cotidais, Marcas de navegação flutuantes, Nomes, etc;

g. Fichas/Registos de navios naufragados;

h. Registos dos dados do SV Probe;

i. Lista dos Dados Digitais

etc.

A.2 Se apropriado providenciar informação sobre o cuidado e rigor dos registos. Se vários colaboradores foram empregues num determinado registo, a divisão do trabalho deverá ser descriminada.

ANEXO B ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Sistema de Sondagem Digital

B.1 Incluir uma breve descrição do:

a. *Hardware* do sistema;

b. Número da versão do *software*;

c. Principais funções do *software*;

d. Aplicações do *software*;

e. Principais dificuldades encontradas.

B.2 Incluir:

a. Diário de todas as avarias que tiveram um impacto significativo na condução do levantamento;

b. Detalhes dos parâmetros e variáveis utilizados durante a aquisição e processamento;

c. Um diagrama ilustrando todos os atrasos.

B.3 O número total de ficheiros DATA criados deve ser mencionado. Se algum ficheiro não for processado, por exemplo por estar corrompido, deve ser apresentada uma breve explicação.

B.4 Processamento (Posicionamento)

a. Referir que não foi efetuado nenhum novo processamento da posição ou detalhar quais as fiadas onde foi necessário reprocessar o posicionamento;

b. Detalhar quaisquer grandes edições no posicionamento –que não seja a remoção de posições falsas.

B.5 Processamento (Profundidades)

Detalhar os parâmetros de processamento utilizados durante o levantamento. As variações dos métodos padrão e os procedimentos utilizados no sistema de processamento deverão ser explicados.

B.6 Detalhar quaisquer modelos digitais de terreno ou de elevação produzidos:

a. Nome

b. Origem

c. Azimute

d. Altura e largura

e. Largura de banda e número de bandas

f. Tamanho dos caracteres utilizados

g. Confirmação de que só foram utilizadas “sondas selecionadas”

h. Detalhar se foi utilizado algum *polygon clipping* no traçado das pranchetas.

B.7 Quadrícula

a. Nome

b. Origem

c. Altura e largura

d. Número de quadrados, tamanho e distância de busca.

B.8 Se foram adotadas quaisquer variações ao procedimento padrão, estas deverão ser descritas em detalhe. Em particular, deverá ser referido o seguinte:

a. Ajustamentos manuais de qualquer profundidade selecionada. Qualquer nova seleção das sondas efetuada manualmente em detrimento das sondas selecionadas pelo processo automático.

b. A adição de quaisquer profundidades à prancheta que não está incluída no registo digital. Uma listagem de todas as profundidades individuais ou os limites dos blocos de coordenadas dos dados manuais deverão ser facultados.

c. Remoção de quaisquer profundidades inválidas nos modelos digitais.

B.9 Impressões de todas as configurações utilizadas durante o levantamento.

ANEXO C ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Dados Geodésicos

Secção 1 – Descrição das Observações

C.1.1 Nesta secção deverá ser efetuada uma descrição completa dos métodos e instrumentos utilizados para as observações de controlo. O tipo de equipamento e o modo em que foi operado deverá ser descrito cuidadosamente O nome e versões de quaisquer programas informáticos utilizados para a redução das observações, ou qualquer outro tipo de tratamento ou transformação deverão ser detalhadas. As dificuldades encontradas e como foram superadas, juntamente com observações sobre a exatidão obtida deverão ser também incluídas.

Secção 2 – *Datum* Horizontal, Esferóide, Projeção e Detalhes da Quadrícula; Lista de Coordenadas

C.2.1 O *Datum* Horizontal, projeção e detalhes da quadrícula já deverão ter sido detalhados no apêndice geodésico das especificações do levantamento. Tais informações devem ser repetidas no início desta secção, tendo como exemplo:

> "Todo o controlo é referido ao *Datum* e elipsóide World Geodetic System 1984 e as coordenadas da quadrícula na projeção Transversa de Mercator, quadrícula UTM Zona 21 Sul (meridiano Central 057 º W)."

ou

> "Todo o controlo é referido ao *Datum* ETRS89, Esferóide GRS80; coordenadas da quadrícula na projeção Transversa de Mercator, quadrícula UTM Zona 31 Norte (Meridiano Central 003 º E)"

Excepcionalmente, onde não houver nenhum *Datum* horizontal adequado já estabelecido, é mandatório declarar na íntegra os detalhes necessários.

C.2.2 As estações deverão ser listadas, em forma de tabela num Anexo ao Relatório do Levantamento, (consultar exemplo no final deste Anexo). Para cada estação, a informação requerida é:

a. Letra identificadora;

b. Nome completo;

c. Nome de campo e / ou número do *Site* GPS;

d. Estações antigas usadas como fonte. Erro estimado para as estações novas ou reocupadas. Se as fontes utilizadas para o posicionamento horizontal e vertical forem diferentes, ambos deverão ser citadas;

e. Coordenadas geográficas. As coordenadas não deverão ser apresentadas com uma precisão mais elevada do que o seu erro estimado. As coordenadas provenientes de outras fontes deverão ser escritas a negrito e sublinhadas.

f. Coordenadas da quadrícula. As coordenadas não deverão ser apresentadas com uma precisão mais elevada do que o seu erro estimado. As coordenadas provenientes de outras fontes deverão ser escritas a negrito e sublinhadas.

g. Altura elipsoidal em metros;

h. Altura ortométrica em metros.

C.2.3 As estações determinadas independentemente da rede principal de controlo deverão ser assinaladas claramente e divulgada a sua origem. Estas deverão ser listadas numa tabela separada, como sugerido no Anexo A desta secção.

C.2.4 Quaisquer alturas observadas deverão ser devidamente tabeladas e a sua fonte mencionada. O *Datum* vertical utilizado deverá ser indicado juntamente com os detalhes do método utilizado, quer as alturas sejam ortométricas ou elipsoidais e a separação entre o geóide/ elipsóide (normal) utilizada, juntamente com a sua fonte.

Secção 3 – Descrição das Estações

C.3.1 Listar quaisquer estações geodésicas conhecidas que já não existam e explicar a razão.

C.3.2 Deverão ser verificadas todas as descrições das estações recuperáveis; quaisquer alterações à descrição das estações previamente estabelecidas que sejam consideradas pertinentes deverão ser também fornecidas. Se uma estação previamente estabelecida não poder ser recuperada, deverá ser mencionado o fato conjuntamente com as presumíveis razões para do problema. A descrição da marca na estação em si, a sua localização e a área geral onde está inserida deverão ser minuciosamente detalhadas tanto quanto possível, para permitir que a estação seja identificada em fotografia aérea, e também no terreno.

C.3.3 Fotografias aéreas panorâmicas da zona, nas quais foram selecionadas e marcadas com muita exatidão as estações, deverão ser fornecidas quando possível. Fotografias no terreno ou preferencialmente fotografias a baixa altitude deverão também ser utilizadas para ilustrar as próprias estações.

C.3.4 Pontos de controlo pré-selecionados (marcados) para a fotografia aérea deverão ser fotografados a intervalos de altitude de 1000 pés até 4000 pés. Isto poderá ser alcançado por câmaras de levantamento aéreo ou uma câmara portátil. Deverão ser tiradas pelo menos duas fotografias em cada altitude, em diferentes posições e tão próximo quanto possível da vertical. Se possível, um par de fotografias deverá incluir linha de costa. Toda as fotografias de controlo deverão ser gravadas com um Relatório de Reconhecimento Fotográfico. As impressões de fotografias de controlo deverão ser , se possível, de toda a área da fotografia (*full frame*).

C.3.5 Todos os diagramas e fotografias deverão ser a preto e branco, sendo selecionados de acordo com a sua legibilidade quando impressos. As vistas deverão ser inventariadas com: número da especificação do levantamento; nome da estação e letra identificativa; data e a referência ao Relatório do Levantamento. Se forem utilizados rótulos é recomendável que sejam colados no verso.

Secção 4 – Resumo das observações

C.4.1 As seguintes subsecções devem ser completadas conforme apropriado.

a. <u>Ângulos</u> - Esta secção deverá conter um conjunto de registos de observação, um (ou mais) para cada estação ocupada. Todos os ângulos horizontais observados deverão

ser registados, incluindo também os que não foram utilizados no ajustamento efetuado no campo, para permitir posteriormente um ajustamento mais rigoroso no Instituto Hidrográfico. Uma estimativa do erro final cada leitura na grade deve ser mencionada. Correções para t - T deverão ser indicadas para cada visada, incluindo a do Objeto de Referência (Orientação do Teodolito). Os ângulos verticais deverão ser apresentados separadamente.

b. Distâncias - Esta secção deverá conter informações completas sobre a medição de cada linha. Todas as distâncias observadas deverão ser registadas, incluindo as não utilizadas no ajustamento efetuado no campo para permitir posteriormente um ajustamento mais rigoroso no Instituto Hidrográfico. Em todos os casos, a derivação da distância reduzida na grade a partir das medições originais efetuadas pelos instrumentos devem ser claras e inequívocas. Dever-se-á tomar atenção para que os fatores de escala sejam aplicados de forma correta. Deverá ser incluída uma estimativa do erro nos resultados. Descrições completas sobre os métodos utilizados, e as correções aplicadas deverão ser dadas no caso de distâncias medidas por outros meios. Os detalhes dos programas de computador utilizados para reduzir as observações para a grade devem ser incluído, juntamente com quaisquer impressões efetuadas.

c. GPS Geodésico - Esta secção deverá conter pelo menos a seguinte informação:

(1) Lista das linha-base observadas incluindo: Data e Dia Juliano, Letra de Sessão, Estações Observadas.

(2) Lista das alturas das antenas para cada observação (referindo o ponto de medição da altura da antena).

(3) Impressões de todos os ficheiros de vetores (*vector files*) GPS pós-processados utilizados para determinação das coordenadas;

(4) Registo digital contendo todos os dados brutos observados;

(5) Registo digital contendo os ficheiros GPS pós-processados e os ficheiros dos ajustamentos de rede. Uma cópia de segurança de todos os dados deve ser mantida a bordo até o levantamento ter sido completamente avaliado pelo Instituto hidrográfico.

Secção 5 – Descrição do Ajustamento

C.5.1 É necessária uma descrição integral dos métodos utilizados no ajustamento de controlo. Os itens a serem processados e o seu formato dependem de requisitos nacionais.

C.5.2 Para projetos de GPS geodésico, só é necessário fixar um ponto de coordenadas conhecidas para processar o ajustamento. Quando existem mais pontos de coordenadas conhecidas no projeto, as coordenadas conhecidas devem ser comparadas com as coordenadas obtidas após o ajustamento.

Secção 6 – Transformação de coordenadas

C.6 Fornecer detalhes completos sobre quaisquer transformações de coordenadas realizadas. Estes deverão incluir a própria transformação e os parâmetros utilizados na plataforma de *software* onde foram realizados os cálculos.

Secção 7 – Correspondência com outras Autoridades que efetuam Levantamentos

C.7 Cópias de toda a correspondência com as autoridades locais que efetuam levantamentos relativamente ao controlo geodésico devem ser incluídas no Relatório do Levantamento.

Diagrama de Controlo

1. Deverá ser efetuado um diagrama de controlo manualmente quando o *software* utilizado para efetuar o ajustamento da rede não tiver a possibilidade de o produzir automaticamente. O Diagrama de Controlo deve ser desenhado em papel de elevada qualidade e justaposto ao Relatório do Levantamento. O tamanho do diagrama deverá ser suficiente para permitir que todas as observações sejam diferenciadas com facilidade e se possa identificar claramente os nomes das estações. O tamanho do diagrama não deverá exceder o tamanho A4, quando dobrado; as áreas de controlo mais adensadas podem ser visualizadas em planos de maior escala, ou separadamente, de forma a dar maior clareza. A escala e graticula devem ser incluídas. É recomendado que as estações utilizadas de trabalhos anteriores sejam exibidas a vermelho, e todas as outras a preto.

2. Os tipos de observação deverão estar claramente diferenciados. Por exemplo, os ângulos observados podem ser indicados por pequenos arcos unindo os diferentes raios, as distâncias observadas podem ser indicadas por raios duplos; os vetores GPS podem ser indicados por linhas vermelhas.

LISTA DE COORDENADAS E ALTURAS

Local (Letra) / Nome Completo/[Nome de Campo] [Número GPS]	Fontes para estações antigas. Erro estimado para estações novas ou reocupadas.	*Datum* WGS 84, Grade UTM zona 21 Sul, Meridiano Central 57º Oeste					
		Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Coordenada horizontal (metros E)	Coordenada vertical (metros N)	Altura ao elipsóide (metros)	Alturas ortométrica s (metros)
(A) Mount Round [ROUND] [2502]	Fl 360 E FL/5-P22	51º 36” 08”.6352	57º 58” 54”.0517	432012.40	4282726.15	168.80	155.48
(B) Mount Brisbane [BRISBANE] [2501]	Fl 360 E FL/1-P26	51º 29” 22”.000	57º 55” 58”.372	435231.84	4295332.16	187.50	173.88
(C) Port Long [LONG] [2503]	< + 0.1 (1σ) metros	51º 33” 24”.124	58º 25” 34”.678	425025.37	4299045.83	22.45	20.43
(D) Icy Point [ICY] [2504]	< + 0.1 (1σ) metros	51º 36” 36.016	58º 57” 54”.879	425609.24	4300005.67	38.91	18.22

ANEXO D ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Calibrações e Validações de Ajudas à Navegação

D.1 Referir o tipo de ajudas, frequências e modos de operação.

D.2 Referir quais as estações de referência utilizadas, fornecendo detalhes complementares. Se for utilizado GPS diferencial.

D.3 Descrever os métodos de calibração e de validação utilizados.

D.4 Listar todos os resultados das calibrações / validações das ajudas incluindo quaisquer impressões computorizadas (se disponíveis) para todas as calibrações / validações efetuadas antes, durante e após o levantamento.

D.5 Quando uma ajuda de precisão tal como um Trisponder é utilizado para validar uma ajuda DGPS, deverão ser incluídas informações completas sobre a calibração da ajuda de referência, bem como pormenores sobre a validação. Quando uma segunda ajuda DGPS é usada para validar a ajuda primária DGPS, este deverá ser um sistema o mais independente possível. Os métodos preferidos para efetuar a validação de ajudas DGPS deverão ser o pós-processamento ou RTK.

D.6 Ao utilizar um sistema de gravação e processamento de dados, deverá ser incluída como apêndice uma impressão mostrando a ajuda e a configuração do sistema. Sempre que houver alterações ao descrito anteriormente, estas deverão ser gravadas e uma nova impressão deverá ser efetuada para efeitos de registo. Deverá ser também incluído, onde apropriado, um sumário estatístico derivado das estatísticas do LOP da ajuda.

ANEXO E ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Velocidade de Propagação do Som na Água e Calibração (*Bar-check*)

E.1 Listar as datas e os resultados obtidos para cada observação.

E.2 Quando a velocidade media de propagação foi calculada a partir de observações com batitermógrafos descartáveis (XBT), deverão ser incluídos o número sequencial das observações com XBT e os valores de salinidade assumidos.

E.3 Registo das CTDV *Probe Casts*

E.4 Registo das observações das estações Oceanográficas

E.5 Registo das Observações da sonda (*Probe*) de Velocidade de Propagação do Som.

(Nota: Uma cópia dos registos adequados deverá também acompanhar as suporte de dados a ser entregue ao Serviço Hidrográfico com o Relatório do Levantamento).

ANEXO F ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Nivelamentos e Observações Maregráficas

F.1 Mencionar os resultados dos nivelamentos sob a forma de um diagrama, afirmando claramente o valor do *Datum* de Sondagem estabelecido.

F.2 Incluir o Registo das Observações de Maregráficas e o Registo da Transferência do *Datum* de Sondagem, caso seja apropriado.

F.3 Registo Diário das Verificações dos marégrafos.

F.4 Resultados da comparação de 25 horas entre a escala de marés e os marégrafos.

F.5 Quando se utiliza dados de um marégrafo fundeado ao largo os seus dados devem ser entregues de acordo com as normas nacionais. Para o Relatório do Levantamento só deverá ser necessário entregar um resumo das observações no seguinte formato:

Morada do marégrafo	Posição	Período de Gravação	Data de entrega	Figura de Redução do IH UKHO

ANEXO G ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Exatidão da Sondagem

G.1 Referir a variação das profundidades ao longo a área do levantamento e indicar o erro padrão acumulado aceitável.

G.2 Listar as técnicas adotadas e a avaliação dos erros padrão alcançados em cada uma das rubricas indicadas na tabela abaixo.

G.3 Definir, como no quadro a seguir, uma listagem das estimativas dos erros padrão para cada um dos critérios testados para a menor e maior profundidade encontradas e para as profundidades intermédias onde a estimativa dos erros se altera significativamente. Deverá ser dada uma breve explicação para a estimativa de cada erro padrão.

Fonte	Profundidade máxima	Profundidades Intermédias	Profundidade mínima
Definições de TX da sonda			
Variação nas definições da marca de TX			
Medição da Velocidade do Som (SV)			
Variação Espacial da SV			
Variação Temporal da SV			
Aplicação da SV medida			
Exatidão Instrumental			
Resolução do Registo			
Arfagem			
Assentamento e Caimento Dinâmico			
Balanço, Cabeceio e Declive do Fundo			
Medições Maregráficas			
Correções cotidais			
Aplicação da Redução de Marés			
Leitura do registo			
Erro Combinado $\sqrt{\sum(x)^2}$			
Requisitos = $\sqrt{\underline{+}(0.5)^2 \underline{+} (0.009d)^2}$			
Alcançado o Padrão (Sim/Não)			

ANEXO H ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Comparação com as Cartas Publicadas

H.1 Chamar à atenção para variações de profundidades que podem carecer da promulgação de avisos á navegação. Por exemplo:

a. Dos 0 aos 10m listar profundidades menores que as carteadas em pelo menos 0,5m

b. Dos 10 aos 31m listar profundidades menores que as carteadas em pelo menos 1 m

c. Dos 31 aos 200m listar profundidades menores que as carteadas em pelo menos 5% ou mais

d. Dos 200 aos 800m listar profundidades menores que as carteadas em pelo menos 10% ou mais

H.2 Em áreas de alto risco onde os navios operam regularmente com o mínimo de resguardo à quilha, qualquer diminuição de profundidades críticas ou controladas deve ser notada. Exemplos de tais áreas de alto risco são: o Estreito de Dover TSS; Rotas de Águas Profundas do Sul do Mar do Norte; dentro e em canais adjacentes às principais zonas portuárias e as suas aproximações.

H.3 Nas seguintes áreas, não é requerida mais que uma descrição geral das alterações. No entanto, as profundidades controladas devem ser claramente identificadas.

a. Áreas com fundos instáveis, onde possam ter ocorrido movimentos significativos de estruturas;

b. Áreas complexas, tais como fundos rochosos;

c. Áreas onde as profundidades obtidas nos novos levantamentos são menores que as carteadas numa parte significativa da área levantada (mesmo que as diferenças estejam dentro dos valores do critério H.1 acima).

H.4 É importante fornecer uma firme recomendação sobre a ação a levar a cabo na fase de cartografia quando os perigos cartografados não tenham sido encontrados durante o levantamento. Um perigo não deverá ser removido da carta, a menos que a recomendação se baseie num exame completo.

H.5 Os *data* de referência horizontal de estruturas levantadas ou carteadas deverão ser mencionados. Idealmente estes devem corresponder ao *Datum* do Levantamento e da carta, respectivamente.

H.6 Quaisquer vistas a 3 dimensões criadas utilizando um sistema de processamento de dados deverão ser incluídas neste anexo. É recomendado que cada vista seja impressa em formato A3 dobrada para caber dentro do relatório de Levantamento com um título mostrando os seguintes itens:

a. O título da respectiva prancheta batimétrica;

b. Escalas horizontais e verticais;

c. Azimute e altura da vista

ANEXO I ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Navios naufragados e Obstruções

I.1 Listar todos os navios naufragados localizados e examinados de duas formas distintas:

a. “Navios afundados conhecidos” (pelo nome, quando apropriado, e posição)

b. “Novos navios naufragados” (pela posição) confrontados com dados existentes dos navios naufragados.

I.2 Comentar todos os navios naufragados listados nas especificações do levantamento que não foram localizados durante o Levantamento, opinando sobre a sua não localização.

I.3 Os navios naufragados carteados, obstruções ou outras estruturas perigosas que foram examinados e não foram localizados durante o levantamento deverão ser refutados se possível. Estes não serão provavelmente retirados das cartas sem uma indicação positiva do hidrógrafo para que tal se verifique.

I.4 Qualquer que seja o resultado da busca, quer como parte de um grande levantamento ou como um exame individual, o Hidrógrafo deverá comunicar os resultados na íntegra, de forma adequada, e com os registos necessários para suporte, juntamente com uma recomendação quanto a futuras ações de cartografia.

I.5 Para cada navio naufragado “não totalmente levantado” (NFS), é necessária uma breve declaração do trabalho adicional requerido, por exemplo: “a ser efetuada rocega com cabos”.

I.6 Listar todas as obstruções encontradas no leito marinho, bem como todas as que não foram localizadas (e porquê).

I.7 Listar todos os *fisherman´s fasteners*, indicando se foram efetuadas buscas para os encontrar e se foram encontrados e se é possível correlacionar com outras estruturas.

ANEXO J ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Observações de Correntes de Maré

J.1 Incluir os Registos das Observações de Correntes de Marés / Correntes.

ANEXO K ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Sectores das Luzes e Bóias

K.1 Fornecer detalhes de como todos os sectores das luzes foram observados, e listar os sectores finais adotados. Comparar com o Anexo P (Correções à Lista de Luzes).

K.2 Listar todas as bóias por nome, número (quando apropriado), características e posição (média da posição na enchente e na vazante).

ANEXO L ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Textura, Natureza do Leito marinho e Amostras de fundo retidas.

L.1 Fornecer uma descrição geral da natureza e textura do fundo marinho, chamando à atenção para características especiais encontradas e comentar a extensão e dinâmica de quaisquer áreas com bancos de areia.

L.2 Listar a posição, altura, extensão e avaliação de quaisquer contactos com dimensões > 1m.

L.3 Providenciar um Registo das Amostras de fundo e *Corers* .

ANEXO M ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Características Topográficas, Objetos Conspícuos e Marcas

M.1 Listar pelo nome, posição e parágrafo relevante no Roteiro todas as características topográficas atualmente cartografadas ou mencionadas nos Roteiros como conspícuas ou proeminentes, referindo se são conspícuos ou proeminentes.

M.2 Providenciar uma lista autónoma de estruturas consideradas conspícuas ou proeminentes, mas que não se encontram cartografadas anteriormente como tal.

M.3 As listas deverão incluir fotografias e não se confinando só ás características, ou vistas da área do levantamento, mas deverão incluir estruturas próximas que tenham sido avaliados quando em transito de e para o porto de apoio.

M.4 Fornecer todos os pormenores de quaisquer distâncias medidas encontradas ou cartografados, que já não são utilizáveis.

M.5 Fornecer detalhes completos de todas as marcas utilizadas para indicar enfiamentos de resguardo, enfiamentos e rotas recomendadas encontrados, ou cartografados que já não são utilizáveis.

ANEXO N ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Alterações aos Roteiros e Nomenclatura

N.1 No decurso de qualquer levantamento, as informações relevantes dos Roteiros deverão ser cuidadosamente analisadas e formuladas alterações pertinentes. Sempre que haja necessidade, deverão ser mantidas notas sobre essas alterações ao longo do levantamento, e o texto revisto deverá ser compilado imediatamente após a conclusão do trabalho no campo, enquanto cada ponto essencial ainda se encontra fresco na memória. Não é possível escrever o Roteiro exclusivamente a partir do estudo das pranchetas batimétricas.

N.2 O anexo deverá indicar claramente quais os pontos do Roteiro que foram verificados.

N.3 Os Roteiros são escritos pelo hidrógrafo como informação complementar à prancheta batimétrica, mas deverá ser aplicada, se possível, também à carta náutica em vigor. Deve-se ter em conta que os editores do Roteiro normalmente não consultam as pranchetas batimétricas, utilizando a carta publicada aquando da análise do texto proposto pelo hidrógrafo. Consequentemente, os objetos de referência deverão, tanto quanto possível, ser comuns tanto à carta como às pranchetas batimétricas.

N.4 Em regra, as informações do Roteiro aplicáveis a um levantamento são cobertas por apenas algumas páginas da publicação, mas dever-se-á ter cuidado para verificar as informações gerais no volume adequado, bem como em qualquer um dos apêndices que possam ser relevantes para a área a ser levantada ou localidades adjacentes.

N.5 Em cada caso, a posição da alteração deve ser claramente identificada. Ao escrever grandes alterações, é recomendável que estas sejam elaboradas com o estilo da publicação a ser alterada. O hidrógrafo deverá estar preparado para ser mais expansivo no seu texto do que provavelmente será necessário na publicação publicada. O editor poderá então obter uma imagem completa da área e será capaz de condensar ou resumir as alterações propostas com mais autoridade. É particularmente importante que se algum detalhe tiver que ser eliminado de uma grande secção de texto a ser reescrita, que uma informação a confirmar o fato seja fornecida, com detalhe nos antecedentes se for o caso. Simplesmente omitir um ponto deixa o editor na dúvida se a omissão é deliberada ou descuido.

N.6 Sempre que possível, qualquer estrutura mencionada especificamente no Roteiro deverá ser ilustrada por fotografias coloridas, e vistas gerais (fotografia colorida ou manuscrito) desde que seja útil.. Estas ilustrações são especialmente úteis nas aproximações aos portos e ao longo dos enfiamentos recomendados.

N.7 Em particular, as seguintes características deverão ser descritas e reportadas:

Fundeadouros	Se extensos ou complicados, deverão ser incluídos num desenho que acompanha a prancheta batimétrica.
Local de Amarração	Deverão ser totalmente descritos.
Rebentação	Deverão ser dados detalhes das áreas de rebentação e da costa inóspita.
Pontes	Deverão ser totalmente descritas. Quando a ponte se desloca para dar passagem a um navio a largura do canal disponível deve ser reportada.
Enfiamentos de Resguardo	Deverão ser totalmente descritos, mencionando (se em transito) a marca anterior primeiro e depois a marca posterior.

Falésias	Quando a sua cor é significativamente diferente das imediações, e tal fato seja de utilidade para o navegante, deverá ser relatada.
Áreas de Perigo	Se extensas ou complicadas, estas deverão acompanhar as pranchetas batimétricas sob a forma de desenho.
Duques de Alba	Deverão ser totalmente descritos.
Turbilhões	Comentar se é ou não perigoso.
Ferries (Transbordado)	Deverão ser totalmente descritos
Ponte Flutuante	Deverão ser totalmente descritos
Nascentes de Água Doce	Deverão ser totalmente descritos.
Esporão	Deverão ser totalmente descritos.
Facilidades do cais	Deverão ser totalmente descritas. Para evitar longas descrições desnecessárias dos grandes portos, bastará obter cópias das brochuras dos portos e dos regulamentos que serão enviados juntamente com as alterações aos Roteiros.
Molhes	Deverão ser totalmente descritos.
Algas (sargaço)	Áreas de algas, a sua existência e a extensão dos seus efeitos deverão ser totalmente descritos.
Enfiamentos	Deverão ser totalmente descritos, mencionando (se em transito) a marca anterior primeiro e depois a marca posterior.
Sectores de Luzes	Deverão ser dados os detalhes, se os sectores forem diferentes daqueles que se encontram na carta.
Eclusa	Deverão ser totalmente descritas. A profundidade máxima sobre a comporta deverá ser indicada.
Distância Medida	Deverão ser totalmente descritos.
Instalações offshore	Deverão ser totalmente descritos.
Emissários	Deverão ser totalmente descritos.
Overfalls	Comentar se é ou não perigoso.
Cabos aéreos	Se passarem por cima de um canal navegável, a altura disponível acima da preia-mar de águas vivas, deverá ser comunicada em conjunto com os nomes da autoridade competente e o seu contacto oficial. Algumas cabos aéreos são detectáveis no radar e podem aparecer como um contacto com rumo constante. Quando este for o caso, o efeito deve ser descrito.
Facilidades Portuárias	Deverão ser totalmente descritas. Para evitar longas descrições desnecessárias dos grandes portos, bastará obter cópias das brochuras dos portos e dos regulamentos que serão enviados juntamente com as alterações aos Roteiros.
Caminhos recomendados	Deverão ser totalmente descritos, mencionando (se em transito) a marca anterior primeiro e depois a marca posterior.
Barra fluvial	Se a barra é sujeita a alterações, o fato deverá ser referido.
Fundo areia ondulados	Limites, orientação, distância entre cristas, altura máxima da crista deverão ser fornecidas.
Esgotos	Deverão ser totalmente descritos.
Plano Inclinado	Deverão ser totalmente descritos.
Área de despejos	Deverão ser totalmente descritos.
Bailadeiras	Comentário sobre se é ou não perigoso.
Poço Submerso	Deverão ser totalmente descritos.
Muralhas de atracação	Deverão ser totalmente descritos.

N.8 Fornecer recomendações para a pilotagem na área do levantamento (se apropriado).

N.9 Todos nomes cartografados deverão ser verificados. Se é encontrado um nome diferente daquele que está representado na carta e que seja de uso generalizado localmente, a fonte autorizada de informação deverá ser comunicada. Listar separadamente quaisquer novos nomes propostos, com uma explicação completa sobre a lógica subjacente da necessidade dar o nome á estrutura (exceto em áreas não exploradas onde isso é evidente) e da seleção dos nomes propostos.

N.10 Quaisquer mapas locais obtidos deverão ser encaminhados com o Relatório do Levantamento e identificados no presente anexo.

ANEXO O ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Vistas

O.1 Existe uma necessidade contínua de fotografias para ilustrar os Roteiros. Em geral, fotografias com mais de 10 anos não são fiáveis, portanto, deverão ser aproveitadas todas as oportunidades para voltar a fotografar vistas existentes, e fornecer novas vistas (panoramas).

O.2 O compilador de uma carta e o editor dos Roteiros podem ser bastante ajudados se poderem visualizar a área em que estão a trabalhar. Uma das melhores maneiras de proporcionar este *input* visual é através da utilização de fotografias. Preferencialmente, fotografias a cores de boa qualidade, particularmente aéreas e oblíquas.

O.3 O hidrógrafo deverá tomar medidas para ilustrar o Relatório do Levantamento e as Alterações aos Roteiros tão completo quanto possível. Mesmo que apenas uma pequena parte das imagens transmitidas sejam eventualmente publicadas, todas elas foram examinados no Instituto Hidrográfico e terão permitido às pessoas que processam o levantamento visualizar a área, pelo menos em parte, como o navegante a vê.

ANEXO P ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Alterações à Lista de Luzes

P.1 Listar todas as discrepâncias encontradas entre os detalhes da Lista de Luzes, cartas publicadas e aquelas que foram observadas.

ANEXO Q ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Alterações à Listas de Radioajudas

Q.1 Listar as correções (alterações) á Lista de Radioajudas que cobre a área do levantamento e os portos visitados. Descrever detalhadamente os serviços de tráfego, sistemas de informações dos navios, informações de segurança marítima difundidas, serviços de pilotagem, operações portuárias, rádio ajudas à navegação, balizas rádio e radar, serviços de estações rádio costeiras e procedimentos de busca e salvamento.

ANEXO R ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Observações Complementares / Diversas

R.1 Fornecer informações no formato pretendido nas especificações técnicas do levantamento ou, caso seja omisso, deverão ser apresentados num formato claro e conciso quanto possível (de preferência em forma de tabela). Incluir no presente anexo; correções ás Impressões das Fotografias Aéreas, *Spoil Grounds*, áreas de Dragagens, fontes de água doce, e detalhes de quaisquer Observações Oceanográficas ou Geofísicas realizadas.

ANEXO S ao

[Relatório do Levantamento em Referência

[Data]

Relatórios de Perigos e Comunicados Hidrográficos

S.1 Listar todos os relatórios enviados por rádio, fax ou e-mail fazendo referência aos Formulários H102 e H102A emitidos relativamente à área fiscalizada.

ANEXO T ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Pessoal

T.1 Fornecer uma lista nominal de todo o pessoal envolvido no levantamento, com datas relevantes.

ANEXO U ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Diário de Acontecimentos Notáveis

U.1 Listar todos os eventos importantes (com as suas datas) que influenciaram a condução do levantamento. Esta lista pode incluir:

a. Estabelecimento do controlo;

b. Calibrações das ajudas à navegação no levantamento;

c. Início do trabalho de campo;

d. Visitas aos portos e períodos de licenças;

e. Treino no Mar, Exercícios Navais e outras atividades militares;

f. Avarias Graves (navio ou equipamentos);

g. Fim do trabalho de campo;

h. Calibrações das ajudas à navegação após o levantamento.

ANEXO V ao

[Relatório do Levantamento em Referência]

[Data]

Sumário das Atividades do Levantamento

V.1 Muitas vezes, é útil fornecer um quadro repartido pelos dias que cobrem o período do levantamento (entre as datas citadas na capa do relatório do levantamento). "Períodos de inatividade" são calculados em dias derivados da agregação dos períodos horários. Dias atracados nos portos deverão ser inscrito na coluna que representa a principal atividade diária. O somatório das colunas individuais deve ser igual ao total apresentado na primeira coluna. Os títulos das colunas são os seguintes:

<table>
<tr><td>TOTAL</td><td colspan="4">MAR</td><td colspan="3">Porto</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Dias Calendário</td><td rowspan="2">Sondagem</td><td colspan="3">Dias Perdidos</td><td rowspan="2">Manutenção e Reparações de Emergência</td><td rowspan="2">Licenças</td><td rowspan="2">Visitas Incluindo paragens logísticas</td></tr>
<tr><td>Inatividade devido ao Tempo, navio e equipamentos</td><td>Passagem</td><td>Deveres Militares</td></tr>
</table>